



(19)

(11) Publication number: 200

Generated Document

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: 2000182199

(51) Int'l. Cl.: H01L 21/304 B24B 37/04

(22) Application date: 16.06.00

(30) Priority:

(43) Date of application
publication: 11.01.02

(84) Designated contracting
states:

(71) Applicant: NEC CORP

(72) Inventor: HASEGAWA KOICHI
MIHASHI HIDEO
OKAWA KATSUHISA

(74) Representative:

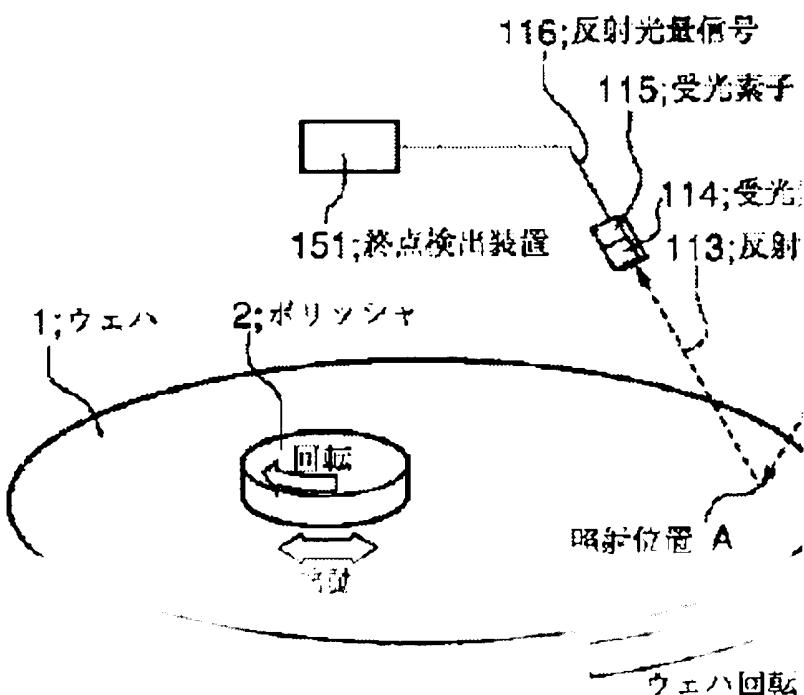
(54) METHOD AND DEVICE FOR DETECTING POLISHING END POINT OF SEMICONDUCTOR WAFER

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and device for detecting the polishing end point of a semiconductor wafer by which the polishing end can be accurately detected by regarding the removal of a barrier film on an insulating film as the polishing end point.

SOLUTION: Detection light of a specified wavelength generated by a light source 111 is applied to an arbitrary position of a semiconductor wafer 1 by a specified system, and the distribution of progress of polishing on the surface of the wafer 1 is measured by using at least one measuring system which gathers a light beam of reflected light regularly reflected in the position of

the light source 111, and the distribution of progress of polishing is arranged according to the measured distribution on the surface of the semiconductor wafer 1 for obtaining an optimum polishing result. For



an optimum polishing result. For example, a polishing end point in an arbitrary position on the wafer polishing surface is detected (by an end point device 151) for finishing polishing, or the polishing is finished in a polishing end point where the polishing is the latest. Also, the device transfers information on the wafer polishing distribution to a CMP device 900 with the intention of reducing nonuniformity of polishing.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-9030

(P2002-9030A)

(43) 公開日 平成14年1月11日 (2002.1.11)

(51) Int.Cl.

H 01 L 21/304
B 24 B 37/04

識別記号

6 2 2

F I

H 01 L 21/304
B 24 B 37/04

テ-マヨ-1 (参考)

6 2 2 S 3 C 0 5 8
K

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号

特願2000-182199(P2000-182199)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(22) 出願日

平成12年6月16日 (2000.6.16)

(72) 発明者 長谷川 功一

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 三橋 秀男

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100108578

弁理士 高橋 詔男 (外3名)

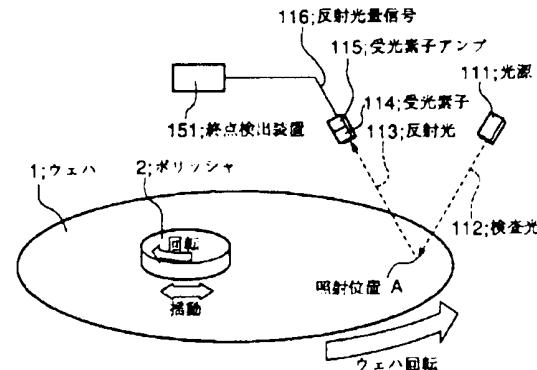
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体ウェハの研磨終点検出方法ならびにその装置

(57) 【要約】

【課題】 絶縁膜上のバリア膜が除去されたことを研磨終点として、精度良く検出することのできる半導体ウェハの研磨終点検出方法ならびにその装置を提供する。

【解決手段】 光源111によって生成される所定波長の検査光を半導体ウェハ1上の任意位置に所定の系で照射し、照射位置で正反射された反射光の光束を受光素子114に集光する一つ以上の測定系を用い、ウェハ1面上の研磨進行状況の分布を計測し、ウェハ研磨面上の任意位置の研磨終点を検出(終点検出装置151)して研磨終了としたり、研磨が最も遅い部分の研磨終点で研磨を終させる等、半導体ウェハ表面上の研磨分布により研磨終点を適宜変え、最適な研磨結果が得られるようにしたり、研磨ムラを減らす意図でCMP装置900にウェハ研磨分布情報を伝える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体ウェハ上に配線を形成する際に用いる化学的機械的研磨プロセスにおいて、1以上の測定系を用いて前記半導体ウェハ面上の研磨進行状況の分布を測定し、その結果に従い研磨終点を適宜変更し、最適な研磨結果を得ることを特徴とする半導体ウェハの研磨終点検出方法。

【請求項2】 前記測定系は、光源によって生成される所定波長の検査光を半導体ウェハ上の任意位置に所定の径で照射し、前記照射位置で正反射された反射光の光束を受光素子に集光する光学装置を用いることを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法。

【請求項3】 前記研磨終点は、

前記反射光量を入力として得、半導体ウェハ1回転分の反射光量を平均化してデータとして出力し、

前記平均データのうち、現時点の値を含み、所定数過去に遡った複数データの平均的傾きを算出して傾きデータとして出力し、

前記傾きデータから平均データの上昇を検出し、当該平均データ上昇後、平均データが安定することを検出して研磨終点と判断することを特徴とする請求項1または2に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法。

【請求項4】 前記平均データの上昇は、

前記傾きデータが正の値か否かを検出するために予め0近傍の閾値を決めておき、傾きデータと前記閾値との比較を行うことにより、前記傾きデータが前記閾値より大きいか否かを判断し、前記閾値を所定回数連続して越えたときに平均データが上昇したと判断することを特徴とする請求項3に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法。

【請求項5】 前記平均データの安定は、

前記傾きデータをチェックして最大であれば、その傾きデータを最大として保持し、その傾きデータが、傾きデータの最大値に所定倍率乗じた値より小さいことを所定回数満たすことにより研磨終点として検出することを特徴とする請求項3に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法。

【請求項6】 ある計測点に対して1以上の計測を行い、その計測データを他の計測点の研磨終点判定に用い、前記他の計測点における研磨終点を推定することを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法。

【請求項7】 1以上の測定系を用いて前記半導体ウェハ面上の各点における研磨終点の検出を行い、前記研磨中に研磨進行度合いを表示することを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法。

前記金属配線形成後、配線以外の絶縁膜上のバリア膜が除去されていない半導体ウェハを対象に、1以上の測定系を用いて前記半導体ウェハ面上各点における研磨終点を検出し、

前記研磨中に研磨進行度合いを表示し、

前記表示された研磨進行状態を考慮して最適な研磨終点の検出を行うことを特徴とする半導体ウェハの研磨終点検出方法。

【請求項8】 少なくとも一つの測定系を用い反射光量を測定することによって前記半導体ウェハ面上の各点における研磨終点の検出を行い、

前記反射光量が緩やかに低下する場合に研磨終点として検出することなく、研磨開始から所定時間経過しても研磨終点が検出できなかった場合に強制的に研磨を終了することを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法。

【請求項9】 前記反射光量を入力として得、半導体ウェハ1回転分の反射光量を平均化してデータとして保持し、1回転毎に得られる平均データと前記保持された平均データを比較し、所定の割合以上の変動があった時にのみ前記研磨終点の検出を行うことを特徴とする請求項8または9に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法。

【請求項10】 半導体ウェハ上に配線を形成する際に用いる化学的機械的研磨装置において、

光源によって生成される所定波長の検査光を半導体ウェハ上の任意位置に所定の径で照射し、前記照射位置で正反射された反射光の光束を受光素子に集光する1以上の測定装置と、

前記1以上の測定系を用いて前記半導体ウェハ面上の研磨進行状況の分布を測定し、その結果に従い研磨終点を適宜変更して最適な研磨結果を得る終点検出装置とを備えたことを特徴とする半導体ウェハの研磨終点検出装置。

【請求項11】 前記終点検出装置は、

反射光量を入力として得、半導体ウェハ1回転分の反射光量を平均化してデータとして出力する平均値算出部と、

前記平均データのうち、現時点の値を含み、所定数過去に遡った複数データの平均的傾きを算出して傾きデータとして出力する傾き算出部と、

前記傾きデータから平均データの上昇を検出し、当該平均データ上昇後、前記平均データが安定することを検出して研磨終点と判断するアルゴリズム演算部とを備えることを特徴とする請求項11に記載の半導体ウェハの研磨終点検出装置。

前記金属膜の剥離を防ぐため、該膜が形成されて成る半導体ウェハの化学的機械的研磨プロセスにおいて、

前記金属配線形成後、配線以外の絶縁膜上のバリア膜が除去されていない半導体ウェハを対象に、1以上の測定系を用いて前記半導体ウェハ面上各点における研磨終点を検出し、前記研磨中に研磨進行度合いを表示し、前記表示された研磨進行状態を考慮して最適な研磨終点の検出を行うことを特徴とする半導体ウェハの研磨終点検出方法。

前記終点検出装置は、

前記それぞれの測定装置から反射光量を入力として得、それぞれの平均データに所定のアルゴリズムに従う研磨終点検出を行い、同時に平均データ間の差を算出し、差分データとして記憶し出力する差分算出部と、前記差分データを入力として複数点の平均的傾きを算出して差の傾きデータとして記憶し出力する差の傾き算出部と、

前記差の傾きデータの時間変化から研磨終点を検出し、終点検出信号として出力するアルゴリズム演算部とを備えることを特徴とする請求項1-1に記載の半導体ウェハの研磨終点検出装置。

【請求項1-4】前記アルゴリズム演算部は、0近傍を判定する値を終点判定閾値として、差の傾きデータの絶対値が連続して所定回数以上終点判定閾値以内の値であった場合、前記差の傾きデータの絶対値が所定値以上になってからの通算で所定回数以上終点判定閾値以内の値になった場合、前記差の傾きデータが終点判定閾値以内になる割合が所定割合以上になった場合のいずれか1に相当したときに研磨が終了したと判定することを特徴とする請求項1-3に記載の半導体ウェハの研磨終点検出装置、

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体ウェハ表面に形成された各種薄膜の化学的機械的研磨を行うときの半導体ウェハの研磨終点検出方法ならびにその装置に関する

【0002】

【従来の技術】半導体ウェハをCMP(化学的機械的研磨)装置により研磨する際に、配線幅が微細化するのに伴い配線中央が削れすぎて配線部分の中央がへこむディッシングと呼ばれる影響や、配線が集中するのに伴い密集した配線エリアの中心部分が削れすぎて、削れすぎた配線の断面積が小さくなるエロージョンと呼ばれる影響が無視できなくなってきた。このため、複数の膜を研磨する際に膜毎に効率の良い研磨液を用いて研磨する複数のステップに分割した研磨方法が採られるようになつた。半導体ウェハの化学的機械的研磨の終点を検出する先行技術に特開平11-345791号がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記した従来例によれば、金属膜、バリア膜、絶縁膜等半導体ウェハ表面に形成された薄膜の全てを一回の研磨により終点検出を行う。従って、分割研磨により金属膜除去後のウェハを対象とした研磨終点を検出できない。

【発明の発明の概要】前記課題を解決するため、金属膜の蒸散を防止するための薄膜が形成され、金属膜除去後のウェハにおいて研磨終点検出は行えない。

また、研磨ムラにより研磨が終了している部分と、研磨終了していない部分が混在している場合があり、未研磨部分がある場合には後工程で検査された後、再度研磨を行わなければならず、研磨ムラによる未研磨部分の残りが問題になっていた。更に、研磨ムラは、金属膜除去時に既に発生している場合があり、それがどの程度なのかをモニタする手段が無く、次行程に頼らざるを得なかつた。このような背景から、金属膜除去後のウェハに対してウェハ面上各点に及ぶ研磨終点を精度良く検出する必要があった。

【0005】本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、絶縁膜上のバリア膜が除去されたことを精度良く検出し、研磨終点として検出することのできる半導体ウェハの研磨終点検出方法ならびにその装置を提供することを目的とする。また、半導体ウェハ表面には研磨そのものによるムラや、前工程の成膜工程による研磨前膜厚バラツキなどによる研磨ムラを生じるが、1以上の測定系を用いてウェハ面上の研磨進行状況の分布を計測し、ウェハ研磨面上の任意位置の研磨終点を検出して研磨終了としたり、研磨が最も遅い部分の研磨終点で研磨を終了させる等、半導体ウェハ表面上の研磨分布により研磨終点を適宜変え、最適な研磨結果が得られるようにしたり、研磨ムラを減らす意図でCMP装置にウェハ研磨分布情報を伝えることのできる、半導体ウェハの研磨終点検出方法ならびにその装置を提供することも目的とする。

【0006】また、ある計測点に対し2種類以上の計測を行っている場合、その計測データを他の計測点の研磨終点判定に役立て、同一半導体ウェハ上であれば、どの計測点でも同じ研磨進行度合での計測データは同じ計測方法毎に等しくなるため、他の計測点に対し、より少ない種類の計測を行い、多い種類の計測点と比べて行つてない種類の計測値を共通する種類の計測値を元に推測し計測の種類を少なくした半導体ウェハの研磨終点検出方法ならびにその装置を提供することも目的とする。更に、1以上の測定系を用いてウェハ面上各点での研磨終点の検出を行い、研磨中に研磨進行度合いを表示することで、研磨ムラの具合を研磨中に確認できる半導体ウェハの研磨終点検出方法ならびにその装置を提供することも目的とする。

【0007】また、金属配線形成後ではあるが配線以外の絶縁膜上のバリア膜が除去されていない半導体ウェハを対象として、複数の測定系を用いてウェハ面上各点での研磨終点の検出を行い、研磨中に研磨進行度合を表示することで、研磨ムラの具合を研磨中に確認可能とし、更にウェハ面上各点における研磨性能を考慮し最適な研

磨終点を検出する装置、方法、半導体ウェハの研磨終点検出方法ならびにその装置を提供することも目的とする。

【C008】

【課題を解決するための手段】上述した課題を解決するために請求項1に記載の発明は、半導体ウェハ上に配線を形成する際に用いる化学的機械的研磨プロセスにおいて、1以上 の測定系を用いて半導体ウェハ面上の研磨進行状況の分布を測定し、その結果に従い研磨終点を適宜変更し、最適な研磨結果を得ることとした。このことにより、1以上の測定系を用いてウェハ面上の研磨進行状況の分布を計測し、ウェハ研磨面上の任意位置の研磨終点を検出して研磨終了としたり、研磨が最も遅い部分の研磨終点で研磨を終了させる等、半導体ウェハ表面上の研磨分布により研磨終点を適宜変え、最適な研磨結果が得られるようにしたり、研磨ムラを減らす意図でCMP装置にウェハ研磨分布情報を伝えることができる。

【0009】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法において、前記測定系は、光源によって生成される所定波長の検査光を半導体ウェハ上の任意位置に所定の径で照射し、照射位置で正反射された反射光の光束を受光素子に集光する光学装置を用いることとした。このことにより、光源から照射された所定波長の検査光は、ウェハ上の照射位置に所定径で照射され、その照射位置で正反射された反射光の光束が受光素子の受光面にはば集光され、ウェハ表面上の研磨液表面の波などにより光が若干ゆらぎ、そのため径が多少変動してもほぼ全て受光素子に入り、ウェハ表面上における研磨進行状況の分布の精密な計測が可能となる。

【0010】請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法において、前記研磨終点は、反射光量を入力として得、半導体ウェハ1回転分の反射光量を平均化してデータとして出力し、平均データのうち、現時点の値を含み、所定数過去に遡った複数データの平均的傾きを算出して傾きデータとして出力し、傾きデータから平均データの上昇を検出し、当該平均データ上昇後、平均データが安定することを検出して研磨終点と判断することとした。

【0011】また、請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法において、前記平均データの上昇は、傾きデータが正の値か否かを検出するために予め0近傍の閾値を決めておき、傾きデータと閾値との比較を行うことにより、傾きデータが閾値より大きいか否かを判断し、閾値を所定回数連続して越えたときに平均データが上昇したと判断することとした。更に、請求項5に記載の発明は、請求項3に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法において、前記平均データの安定は、傾きデータをチャックして最大である

【0012】このことにより、平均データの上昇が小さい場合には、傾きデータの変化は0近傍で緩やかに変化することから傾きデータの最大は比較的小さな値となり、傾きデータ最大の値に所定倍率を乗じた閾値を用いることで、研磨終点、すなわち傾きデータが極力の近傍の閾値とすることができる。逆に平均データの上昇が大きい場合には、傾きデータの変化は急峻であることから、傾きデータ最大は比較的大きな値となり、傾きデータ最大の値に所定倍率を乗じた閾値を用いることで、急峻な変化に対応した閾値とことができ、研磨終点検出の精度を高めることができるものである。

【0013】請求項6に記載の発明は、請求項1に記載の半導体ウェハの研磨終点検出方法において、ある計測点に対して1以上の計測を行い、その計測データを他の計測点の研磨終点判定に用い、前記他の計測点における研磨終点を推定することとした。このことにより、ある計測点に対し2種類以上の計測を行っている場合、その計測データを他の計測点の研磨終点判定に役立て、同一半導体ウェハ上であれば、どの計測点でも同じ研磨進行度合での計測データは同じ計測方法毎に等しくなるため、他の計測点に対し、より少ない種類の計測を行い、多い種類の計測点と比べ、行っていない種類の計測値を共通する種類の計測値を元に推測し計測の種類を少なくできる。また、請求項7に記載の発明は、1以上の測定系を用いて前記半導体ウェハ表面上の各点における研磨終点の検出を行い、研磨中に研磨進行度合を表示することとした。このことにより、研磨ムラの具合を研磨中に確認することができる。

【0014】請求項8に記載の発明は、絶縁膜を覆うように上位層に配線用金属が膜付けされ、当該金属膜と下位層の前記絶縁膜との間に前記金属膜の拡散を防ぐバリア膜が形成されて成る半導体ウェハの化学的機械的研磨プロセスにおいて、金属配線形成後、配線以外の絶縁膜上のバリア膜が除去されていない半導体ウェハを対象に、1以上の測定系を用いて前記半導体ウェハ表面上各点における研磨終点を検出し、研磨中に研磨進行度合を表示し、表示された研磨進行状態を考慮して最適な研磨終点の検出を行うこととした。このことにより、金属配線形成後ではあるが配線以外の絶縁膜上のバリア膜が除去されていない半導体ウェハを対象として、複数の測定系を用いてウェハ面上各点での研磨終点の検出を行い、研磨中に研磨進行度合を表示することで、研磨ムラの具合を研磨中に確認可能とし、更にウェハ面上各点における研磨状態を考慮し最適な研磨終点の検出を行うとともに、研磨中に研磨進行度合を把握し、研磨ムラを小さくする意図で、より均質な研磨を行う構成とする。

【0015】本発明は、半導体ウェハの研磨終点検出方法に関するものである。

【0016】本発明は、測定系を用いて反射光量を測定することにより、前記半導体ウェハ面上の各点における研磨終点の検出を行い、

反射光量が緩やかに低下する場合に研磨終点として検出することなく、研磨開始から所定時間経過しても研磨終点が検出できなかった場合に強制的に研磨を終了することとした。また、請求項10に記載の発明は、請求項8または9に記載の発明において、反射光量を入力として得、半導体ウェハ1回転分の反射光量を平均化してデータとして保持し、1回転毎に得られる平均データと保持された平均データを比較し、所定の割合以上の変動があった時にのみ研磨終点の検出を行うこととした。

【0016】請求項11に記載の発明は、半導体ウェハ上に配線を形成する際に用いる化学的機械的研磨装置において、光源によって生成される所定波長の検査光を半導体ウェハ上の任意位置に所定の系で照射し、前記照射位置で正反射された反射光の光束を受光素子に集光する1以上の測定装置と、1以上の測定系を用いて前記半導体ウェハ面上の研磨進行状況の分布を測定し、その結果に従い研磨終点を適宜変更して最適な研磨結果を得る終点検出装置とを備えることとした。上記構成により、1以上の測定装置を用いてウェハ面上の研磨進行状況の分布を計測し、ウェハ研磨面上の任意位置の研磨終点を検出して研磨終了としたり、研磨が最も遅い部分の研磨終点で研磨を終了させる等、半導体ウェハ表面上の研磨分布により研磨終点を適宜変え、最適な研磨結果が得られるようになり、研磨ムラを減らす意図でCMP装置にウェハ研磨分布情報を伝えることができる半導体ウェハの研磨終点検出装置を提供できる。

【0017】請求項12に記載の発明は、請求項11に記載の半導体ウェハの研磨終点検出装置において、前記終点検出装置は、反射光量を入力として得、半導体ウェハ1回転分の反射光量を平均化してデータとして出力する平均値算出部と、平均データのうち、現時点の値を含み、所定数過去に遡った複数データの平均的傾きを算出して傾きデータとして出力する傾き算出部と、傾きデータから平均データの上昇を検出し、当該平均データ上昇後、平均データが安定することを検出して研磨終点と判断するアルゴリズム演算部とを備えることとした。上記構成により、平均データの上昇が小さい場合には、傾きデータの変化は0近傍で緩やかに変化することから傾きデータの最大は比較的小さな値となり、傾きデータ最大の値に所定倍率を乗じた閾値を用いることで、研磨終点、すなわち傾きデータが極力0近傍の閾値とすることができる。逆に平均データの上昇が大きい場合には、傾きデータの変化は急峻であることから傾きデータ最大は比較的大きな値となり、傾きデータ最大の値に所定倍率を乗じた閾値を用いることで、急峻な変化に対応した閾値とことができ、研磨終点検出の精度を高めた半導

径にて照射される第2の測定装置が付加された、半導体ウェハ上に配線を形成する際に用いる化学的機械的研磨装置において、前記終点検出装置は、それとの測定系から反射光量を入力として得、それとの平均データに所定のアルゴリズムに従う研磨終点検出を行い、同時に平均データ間の差を算出し、差分データとして記憶し出力する差分算出部と、差分データを入力とし、複数点の平均的傾きを算出して差の傾きデータとして記憶し出力する差の傾き算出部と、差の傾きデータの時間変化から研磨終点を検出して終点検出信号として出力するアルゴリズム演算部とを備えることとした。

【0019】また、請求項14に記載の発明は、請求項13に記載の半導体ウェハの研磨終点検出装置において、前記アルゴリズム演算部は、0近傍を判定する値を終点判定閾値として、差の傾きデータの絶対値が連続して所定回数以上終点判定閾値以内の値であった場合、あるいは差の傾きデータの絶対値が所定値以上になってからの通算で所定回数以上終点判定閾値以内の値になつた場合、または、差の傾きデータが終点判定閾値以内になる割合が所定割合以上になつた場合に研磨が終了したと判定することとした。上記構成により、ある計測点に対し2種類以上の計測を行い、その計測データを他の計測点の研磨終点判定に役立て、同一半導体ウェハ上であれば、どの計測点でも同じ研磨進行度合での計測データは同じ計測方法毎に等しくなるため、他の計測点に対し、より少ない種類の計測を行い、多い種類の計測点と比べ、行っていない種類の計測値を共通する種類の計測値を元に推測し計測の種類を少なくした半導体ウェハの研磨終点検出装置を提供できる。

【0020】

【発明の実施の形態】(第1の実施形態)図1は本発明における半導体ウェハの研磨終点検出装置の一実施形態を示す図である。本発明の半導体ウェハの研磨終点検出装置は、半導体ウェハ研磨装置に測定系を付加して構成される。ここでは、水平面内で回転しながら研磨圧力に充分耐えられるように支持されているウェハ1と、このウェハ1に対して所定圧力をかけて接触し、回転しながらウェハ1の半径方向に振動するボリッシャ2を有する半導体ウェハ研磨装置が例示されている。

【0021】測定系は、ウェハ1上に所定の径と角度で照射される所定波長の検査光112が発光原である光源111と、光源111から照射された検査光112がウェハ1上で正反射した反射光113の光軸上にあり、反射光113を受光してその反射光量を測定する受光素子114と、反射光113が受光素子114の受光面に集まることで受光素子114に接続され反射光量を反射半量に

示す。一方、検査光112は、半導体ウェハの研磨終点検出装置において、同一の測定系で同一の測定位置に同一の所定照射角度、所定波長で、同一照射位置に対し同一

の反射光量を出力する。この反射光量を反射半量に示す。一方、検査光112は、半導体ウェハの研磨終点検出装置において、同一の測定系で同一の測定位置に同一の所定照射角度、所定波長で、同一照射位置に対し同一の反射光量を出力する。この反射光量を反射半量に示す。

1回転の平均値を算出し、平均データ412として記憶し出力する平均値算出部411と、平均データ412の複数点の平均的傾きを算出して傾きデータ414として記憶し、出力する傾き算出部413と、傾きデータ414の時間変化から研磨終点を検出して終点検出信号415として出力する演算部416で構成される。

【0023】図2は、研磨対象である半導体ウェハ1表面の断面形状を示す一例である。図では、絶縁膜203を覆うように最上層に金属膜201がウェハ面上に膜付けされており、最上層の金属膜201と下層の絶縁膜203との間に金属膜の拡散を防止するためのバリア膜202が形成されている。半導体ウェハをCMP装置により研磨し、溝部分の金属膜を残すことで配線を形成する際に、配線幅が微細化するのに伴い配線中央が削れすぎて配線部分の中央がへこむディッシングと呼ばれる影響や、配線が集中するのに伴い密集した配線エリアの中心部分が削れすぎて、削れすぎた配線の断面積が小さくなるエロージョンと呼ばれる影響が無視できなくなっている。こういった影響を最小限にするために特定の膜を効率よく研磨する研磨液を用いて研磨をステップに分割して行うことは上述したとおりである。

【0024】図2に示す例では、1次研磨により金属膜201を効率よく研磨するが、バリア膜202は研磨されにくい研磨液を用いて1次研磨終点205を検出し、2次研磨ではバリア膜202を効率よく研磨するが金属膜201は研磨されにくい研磨液を用い、研磨中にディッシングやエロージョンの影響を起こしにくくした上で、1次研磨終点205の後に残った金属膜201である配線部分204以外の露出しているバリア膜202を研磨により除去した時点である研磨終点206を検出する。分割研磨を行う場合、次工程に渡す直前である研磨終点206において、研磨不足による配線部分の溝以外の絶縁膜203上にバリア膜202の残りがなく、かつ絶縁膜203の過研磨がないことが重要であり、本発明では、金属膜201を除去した後のウェハに対して精度良く研磨終点206を検出することを目的とすることは上述したとおりである。

【0025】図1に示す測定系として、光源111から照射された所定波長の検査光112は、ウェハ1上の照射位置Aに所定径で照射され、照射位置Aで正反射された反射光113の光束が受光素子114の受光面に集光する。そのために、光源111である半導体レーザを図示せぬコリメータレンズで平行光とし、かつビーム径変換光学系や光ヒーメットを所定径の穴などのマスクで覆うことで受光素子114の受光面より小さい所定径とする。この時、ウェハ表面の研磨液表面の波たぎにより半径

度より十分小さい所定角で照射する。

【0026】光源111は、半導体レーザ以外に固体レーザや気体レーザなどの一般的なレーザを用いること可能であり、平行光を出射するレーザであればコリメータレンズは不要である。必要に応じて反射ミラーなどを用いてポリッシュや振動や研磨動作を阻害しないように光が通る光路を設計し構成する。光源111の波長は金属膜201での反射率がなるべく大きく、バリア膜202や下層膜の反射率が小さい波長を選択する。例えば、金属膜が銅の場合、波長が600nmから10μm程度だと分光反射率が90%を越えることが分かっているので、この波長範囲内の光を用いる。そしてバリア膜や下層膜での反射率が金属膜201での反射率より小さく、かつ光路調整を行いやすくするためと、赤外だと熱放射の影響が出てくるので600nm以上かつ可視光領域の波長を用いるとよい。金属膜201がアルミなど他の材質の場合にも反射率が大きくなるように、かつバリア膜202や下層膜での反射率が金属膜201での反射率より小さい波長を選択する。

【0027】図2における照射位置Aに関して、予め図3に示すウェハ1の被研磨面にある研磨液3によって検査光112および反射光113がウェハ1上で正反射するのを阻害しないように研磨液排除装置4にて反射光が研磨液表面の波の影響を大きく受けない程度まで研磨液を排除しておく。

【0028】ここで、研磨液排除装置4は、照射位置Aに対してエアノズルのようにエアを絞ってウェハ1上に吹き付け研磨液を排除してもよい。また、検査光に対し透明でウェハの照射位置Aを覆う広さで接触し回転しても傷が付かない物質を用いて研磨液を排除してもよく、更に、ウェハ1に接触し回転しても傷が付かない物質を用いて自動車のワイパーのようなものをウェハ回転方向上流に照射位置Aの幅を覆う広さで設置し、照射位置付近の研磨液を排除してもよい。ここではウェハ1の研磨進行に伴う反射光量信号116の変化を研磨液が阻害しないことが重要であり、研磨進行具合の変化を反射光量信号116により測定できればよく、更に研磨液が研磨液以下のウェハ表面の反射率計測に大きな影響を及ぼさない場合には研磨液排除装置4はなくても構わない。

【0029】対象となる金属によっては例えば銅は空気中の酸素の影響で酸化するため研磨液を完全に除去しないように表面に薄く研磨液が残るようとする。更に、先に半導体レーザをコリメータレンズで平行光にすると示したが、反射光が殆ど全て受光面に入るならば平行光でなくとも構わず、収束光であっても広がっていく光でもよい。研磨動作は、(a)、(b)の回転、(c)、(d)の平行

運動、(e)、(f)の平行運動、(g)、(h)の平行運動の順序で、研磨液表面での反射を小さくするため、全反射角

度より十分小さい所定角で照射する。

検査光112の反射光量信号116は、初期的変化を有する信号として終点検出装置101に入力され

る

【0030】次に、終点検出装置151における動作について図4および図5を用いて説明する。まず、図5(a)は、研磨中における平均データ412の時間変化の一例を表すグラフであり、図5(b)は、研磨中における傾きデータ414の時間変化の一例を表すグラフである。研磨の進行状態は、反射光量信号116の周期的な変化を除去した信号変化に現れる。図4に示すように、平均値算出部411は、一定間隔で反射光量信号116を入力し、ウェハ1の1回転分の反射光量信号116を平均して平均データ412として算出し、1回転毎の時間経過と共に記憶する。この時、反射光量信号116を1回転の自然数倍毎あるいは1回転全てではなく1回転中の所定時間の範囲を1回転の自然数倍毎に平均し、平均データを算出してもよい。

【0031】図5(a)に示すグラフは、金属膜201を除去した後で、バリア膜202を有するウェハ1を研磨した際の研磨進行に伴う平均データの変化の一例を示したグラフである。平均データは、研磨の進行に伴って以下に列挙する(1)～(4)で示す特徴的な変化が見られる。

- (1) 研磨初期には比較的大きな変化が発生する
- (2) 反射光量が低下していく。
- (3) 反射光量が上昇していく。
- (4) 反射光量変化が小さくなり安定する。

【0032】(1)における研磨初期の比較的大きな変化は、ウェハ1とポリッシュヤーが馴染むまでの間に生じるものであり、初期不安定領域で研磨進行とは異なる変化である。(2)における反射光量低下は、研磨進行によりバリア膜が薄くなるのに伴う変化で、金属膜201の反射率よりバリア膜202の下層膜の反射率や干渉の効果も含むバリア膜202の影響の占める割合が少なくなってくることから生じる。

【0033】(3)における反射光量の上昇はバリア膜202が薄くなり、バリア膜202より絶縁膜203あるいは多層に配線パターンが形成されているウェハ1などにおける更に下層にある配線パターンや干渉の効果も含んだバリア膜202より反射率の高い層の反射の影響を受けるためである。反射率は素材そのものの影響だけでなく膜の厚さに起因する干渉によっても決まる。(4)における反射光量が安定するのは、バリア膜202が除去されて配線部分の溝にある金属膜201の反射と絶縁膜203を含む下層膜の反射により反射光量が決まり、金属部分と絶縁膜部分の面積が変わらないため反射光量が安定する。この安定期間は、配線部分を形成す

る発明による研磨終点の検出は、配線部分を過研磨しないことが一つの目的であり、この安定期間中に研磨を終了するため、反射光量が安定期を過ぎた後に関しては考慮外とする。

【0034】研磨初期の比較的大きな変化は、ウェハ1とポリッシュヤーが馴染むまでの間に発生するもので、平均値算出部411で周期的变化を除去しても、研磨の進行とは異なる変化を示し、誤判定の要因となる。そこで、研磨初期における研磨の進行とは異なる変化による研磨終点の誤検出を防止するため研磨開始から一定時間は平均データ412を無視する。平均データ412の研磨初期の不安定要素を除去できても、ウェハ半径方向研磨進行ムラ、計測精度、ノイズの混入により平均データ412はノイズ成分が残るため更に平均データ412を充分に平滑化する必要がある。そこで、傾き算出部413により平均データ412のうち現時点の値を含んで所定数過去に遡った複数のデータの平均的傾きを算出し、傾きデータ414として出力する。

【0035】図5(b)に示すグラフは、傾きデータ414の変化の一例である。平均的傾きの算出は複数のデータの最小二乗法を用いてもよいし、複数のデータの平均値と所定数過去に遡った時点付近における複数のデータの平均値を結ぶ傾きでもよい。図5(a)における平均データの変化と、図5(b)における傾きデータの変化のグラフにおいて反射光量変化のノイズ成分が除去されているのが分かる。この傾きデータ414をもとにして演算部416により最終的な研磨終点の判定を行い、終点検出信号415として研磨が終了したことを研磨装置に通知し研磨を終了する。

【0036】次に、演算部416による研磨終点の判定のアルゴリズム(以下アルゴリズムaとする)について、図6に示すフローチャートを参照しながら説明する。まず、図5(a)に示す平均データ412の変化の特徴である平均データ412の上昇を検出する第1ステップの処理を行う。第1ステップの処理においては、平均データ412が上昇する傾きが負から正に転ずることを検出するために、傾きデータ414が正の値か否かを判定する(ステップS101)。ただし、突発的なノイズによる瞬間的あるいは一時的に傾きデータが0近傍になったことや、反射光量が増加せずにそのまま安定したために起こる傾きデータが0近傍になったのを誤認識しないため、単純に傾きデータが負から0を越えたかどうか判定するのではなく、予め0近傍の閾値を決めておき、傾きデータ有りと比較する。

第1ステップの処理を完了する。この第1ステップにおける

データ
平均
傾き
終点
検出
終了

この期間を過ぎると再び反射光量は変化する。ただし、本

閾値と比較

所定閾数を越して場合は第1ステップの処理を完了する。この第1ステップにおける

る条件ループを回っている状態の時、ステップ101で同時に傾きデータを確認し、傾きデータが最大であれば、その値を傾きデータ最大として保持しておく。

【0037】次に第2ステップの処理においては、平均データ上昇後の平均データが安定することを検出する。ここでは、第1ステップの処理と同様に、まず、ステップS204で傾きデータをチェックし、最大であればその傾きデータを最大として保持しておく。次にステップS205で「傾きデータ・[傾きデータ最大*所定倍率]」を満足するか否かを判断し、その傾きデータが、傾きデータの最大値に所定倍率乗じた値との大小比較を行う。そして、ステップS206で、ステップS205で示す条件を所定回数満たすか否かをチェックし、所定回数満たした場合、研磨終点として検出する(ステップS207)。

【0038】ここで、傾きデータ最大に所定倍率を乗じた値と傾きデータ414を比較する理由は、平均データの上昇が小さい場合には、傾きデータの変化は0近傍で緩やかに変化することから傾きデータの最大は比較的小さな値となり、傾きデータ最大の値に所定倍率を乗じた閾値を用いることで、研磨終点、すなわち傾きデータが極力0近傍の閾値とすることができます。逆に平均データの上昇が大きい場合には、傾きデータの変化は急峻であることから傾きデータ最大は比較的大きな値となり、傾きデータ最大の値に所定倍率を乗じた閾値を用いることで、急峻な変化に対応した閾値とすることができます。研磨終点検出の精度を高めることが出来る。例えば、検査光112の光源111の光強度が劣化等により長期的に減少する場合など、S/N比は変わらないが信号が小さくなり同じ傾きの判定値を用いると検出精度が劣化する場合に対応できる。

【0039】(第2の実施形態)図7は本発明における半導体ウェハの研磨終点検出装置の他の実施形態を示す図である。図7に示す第2の実施形態では、図1に示す全ての構成要素を包含し、図1に示す第1の測定系(図1に示す測定系をここでは便宜上第1の測定系と称す)とは異なる所定照射角度、所定波長で同一照射位置Aに同一径にて照射される第2の測定系が付加されている。

【0040】第2の測定系は、第1の測定系である検査光112と波長が異なり、同一径かつ同一照射位置Aに異なる照射角度で、光学系配置可能な光路をクロスさせて同一照射角度で照射する検査光122と、光源121から照射された検査光122がウェハ1上で正反射した反射光123の光軸上にあり反射光123を受光してその反射光量を測定する受光素子124と、反射光123

【0041】第1の測定系と第2の測定系の波長を変えるのは研磨終点付近での波長毎の反射率の変化の違いをとらえるためで、照射角度が異なるのは、同一照射位置に照射するために物理的にレーザを配置できないためであり、小型レーザや、ミラーなどを用いて光学系配置可能なら光路をクロスさせて同じ照射角度で照射しても構わない。また、第1の測定系と第2の測定系で照射位置を同一箇所にする理由は、同一の場所を検出するためであり、同一径にする理由は、径が異なることにより他の箇所状態が検出信号に混じらないようにするためにある。

【0042】終点検出装置152は、図8に示すように平均データ412と平均データ422のそれぞれにアルゴリズム3による研磨終点検出を行い、同時に平均データ412と平均データ422の差を算出して、差分データ402として記憶し出力する差分算出部401と、差分データ402を入力し複数点の平均的傾きを算出して差の傾きデータ404として記憶し出力する差の傾き算出部403と、差の傾きデータ404の時間変化から研磨終点を検出して終点検出信号405として出力する演算部406で構成される。平均データを傾き算出部413差分算出部401に並列して入力することで、演算部416、426と演算部406は並列動作もしくはどちらか一方または両方行わないのいずれかを任意に行うことができる。

【0043】図7に示す第2の実施形態において研磨対象となるウェハは図1に示す第1の実施形態と同様であり、研磨に先立ち予め研磨液を測定に影響のないように排除しておく、光源121から照射された所定波長の検査光122は、ウェハ1上の照射位置Aで第1の測定系における検査光112と同一径で照射され、照射位置Aで正反射された反射光123の光束が受光素子124の受光面にほぼ全て入るようにするために、半導体レーザをコリメートレンズで平行光とし、かつビーム径変換光学系や光ビームを所定径の穴などのマスクで覆うことによって受光素子124の受光面より小さい所定径とする。光源は第1の実施形態で述べたように一般的なレーザを用いても構わない。平行光を出射するレーザを用いる場合コリメートレンズは不要である。

【004-4】光源1-2の波長に関しては図2に示す金属膜における金属の種類に応じて第1の測定系である光源1-1の反射率と極力大きく異なる波長を選択する金属膜2-0-1が銅の場合、第1の実施例で示したように波長がら0.0 nm以上の可視光だと分光反射率は90%を越えるが、550 nm未満だと6%未満になることから、例えば第1の測定系の波長を450 nmから

（2）機器構成と測定量の測定
は終点検出装置 15 に流入

【付録】 ここでは、二つの異なる波長の光源を用い、

るため同一膜で各波長毎に反射率が違う反射光量が異なる。波長が異なることにより膜毎に分光反射率が異なることを利用し、予め決めた基準膜での反射光量と研磨途中のウェハ表面上の反射光量変化を調べ、基準膜の反射率が一致するよう補正した波長の異なる2つの反射光量の差の変化から研磨終点を検出する。

【0046】研磨途中のウェハ1表面は、配線パターンや絶縁膜203があり特定の一種類のみで反射光量を測定できることや、膜厚変化に伴う干渉などにより反射光量が変化し、反射率の基準となる基準膜には不向きである。そこで、ここでは単一膜で干渉による変化がない金属膜201を基準膜として、ウェハ1全面に金属膜201が干渉しないくらい十分厚みのある状態かつ表面が研磨で滑らかになった状態で計測した波長の異なる2つの平均データを一致させるように補正し、この補正を基準光量補正と呼ぶ。各波長の金属膜201での平均データを補正により一致させることで、金属膜201での反射率を基準としてパリア膜202と絶縁膜203での反射率の違いからそれぞれの平均データが大きく変わることから、それぞれの補正後の平均データの差を取り、その変化から研磨終点を検出する。

【0047】具体的には、金属膜201での平均データ412または平均データ422のどちらかを基準として、他方にある倍率を乗じて金属膜201での平均データを一致させるところが、本発明の対象となるウェハは金属膜201が既に除去された状態から研磨を開始するため、基準となる金属膜201での平均データを測定

第1の測定系への補正倍率

$$= \text{第1の現在出力値} - \text{第1の基準出力値} \quad \dots (1)$$

第2の測定系への補正倍率

$$= (\text{第一の基準反射光量} \cdot (\text{第一の現在出力値} / \text{第一の基準出力値})) \\ / (\text{第二の基準反射光量} \cdot (\text{第二の基準出力値} / \text{第二の基準出力値})) \dots (2)$$

〔0049〕図9に示す3つのグラフは、第2の実施形態における代表的なグラフで、金属膜除去後からの研磨進行すなわち反射光量信号の時間変化を表すグラフであり、図9(a)は、研磨中における平均データ412と平均データ422の時間変化の一例を表すグラフであり、図9(b)は、金属膜201を研磨している最中の平均データ412と平均データ422を一致するように補正した、補正後の平均データ412と補正後の平均データ422における時間変化の一例を表すグラフであり、図9(c)は、研磨中における補正後の平均データ412と補正後の平均データ422における差の傾きデータの時間変化の一例を表すグラフである。

【0050】 ここでも第1実施形態と同様に 第1の測

できない。そこで、研磨を行う前に予め金属膜を除去する前のウェハにてデータを取得し保管しておく。例として第1の測定系における金属膜での平均データ4.1.2を基準とした場合について説明する。金属膜除去前のウェハにて通常の研磨動作を行い、金属膜除去前の平均データ4.1.2と平均データ4.2.2を取得する。この時、通常の研磨動作と同様に研磨初期の大きな変化を無視した後、所定時間平均データ4.1.2と平均データ4.2.2を取得し続けて、所定時間での平均値を算出し、それぞれ、第1の基準反射光量、第2の基準反射光量として保存しておく。保存したデータは研磨開始直後に取り出して基準光量補正で用いる補正倍率の計算を行う。しかし、基準反射光量だけを基準光量補正を行うと、レーザの発光出力は温度や経年などにより変動するが、これを無視することになってしまう。

【0048】そこで、基準反射光量を測定する際、同時に第1の測定系および第2の測定系のレーザ出力モニタ値も測定し、基準反射光量の算出と同様に、出力モニタ値の平均を算出して、それぞれ第1の基準出力値、第2の基準出力値を算出して保存する。以降、金属膜が除去されたウェハを研磨する際に、研磨開始時に第1の測定系、第2の測定系から得られるレーザ出力モニタ値を測定し、それぞれ第1の現在出力値、第2の現在出力値として、保存した第1の基準反射光量と第2の基準反射光量および第1の基準出力値と第2の基準出力値を呼出し、以下の方式により基準光量補正による補正倍率を算出する。

2として算出し記憶する。同様に第2の測定系に対しても、平均値算出部4.2.1にて平均データ4.2.2を算出し記録する。平均データのノイズ成分を除去するため、第1の実施形態と同様に第1の測定系に対して、傾き算出部4.1.3により平均データ4.1.2を入力して平均的傾きを算出し、傾きデータ4.1.4として出力する。第2の測定系も同様に傾き算出部4.2.3により平均データ4.2.2を入力して傾きデータ4.2.4として出力する。

【0051】こうして得られた傾きデータ414と傾きデータ424それぞれに演算部416、426でアルゴリズムを実行しても、平均データの上昇がないため研磨終点の検出を行えない。図9(a)と図9(b)のグラフより、研磨の進行に伴って上昇が認められない。

（回転の反射光量を平均して平均データを用いて計算）

異なり、差が開いてい、

3) 研磨終点以降 第1の測定系における平均データ 4.1.2と第2の測定系における平均データ 4.2.2の光量変化率はほぼ同一になり 差が一定となる

【0052】(1)における研磨初期の比較的大きな変化は、ウェハ1とポリッシュヤ2が馴じまでの間に生じるものであり、初期不安定領域で研磨進行とは異なる変化である。

(2)における反射光量の低下は、研磨進行によりバリア膜202が薄くなるのに伴う変化で、研磨進行に伴いウェハ面上でバリア膜202が薄くなり、バリア膜202の下層が露出することによりバリア膜202の占める割合が少なくなっていることから生じる

【図9(う)】ここで図9(う)では波長の異なる二つの補正後の平均データは、変化率が異なり始め差が開いていく。これは下層構造や干涉を含むバリア膜での反射率が波長により異なるために起こり、金属膜201での反射率を基準として補正しているため、研磨進行に伴いバリア膜202の占める割合が少なくなり、バリア膜202除去後の下層構造において波長が異なると反射率が異なるためであり、変化率も異なることから差が大きく開いていく。

(3)については、それぞれの波長における反射率はバリア膜とO₂の占める割合が少なくなり下層構造に依存するため、それぞれの反射光量の変化率は安定して波長の異なる2つの補正後の平均データは差が開いた状態で安定する。

【0054】金属膜201を除去した状態では図9よりも平均データ4.1.2の方が平均データ4.2.2より反射光量低下が大きくなる。これは、反射光量低下率はバリア膜202でのそれその波長における反射率の違いにより決まるためである。この時点以降、つまり検査開始後、バリア膜202は薄くなつて光を透過し始め、下層の影響がより大きくなる。このとき、第1の平均データ4.1.2と第2の平均データ4.2.2の間で差が広がっていき、研磨終了時点で差が最大になり、その後は差がほぼ同一になる。これは、研磨終点に到達したことを表し、第1の実施形態で説明したようにバリア膜除去後の下層

構造の反射率で安定することから、それぞれの波長での反射光量つまり平均データが安定するためであり、この時第1の測定系と第2の測定系における平均データの差が一定となるためである。従って、研磨終点を検出するためには、研磨終点に向けて第1の平均データ4.12と第2の平均データ4.22との低下率の差が広がっていき、研磨終点で差が一定になる時点を検出すればよい。

(11053) 沖縄を用いた第2次軍施形態(小林大綱)

タ4.1.2に基準光量補正で求めた第1の測定系への補正倍率を乗じて補正後の第1, 2の平均データを算出し。同様に補正後の第2の平均データを算出して、第1, 2の平均データと第3の平均データの差を求めて差分データ4.1.2を出力する。

【0016】差分データ402は、金属膜除去時点でのムラ、研磨進行ムラ、計測精度、ノイズの混入によりノイズ成分が残るため更に差分データ402のノイズ成分を十分に平滑化する必要がある。そこで、差の傾き算出部403により差分データ402のうち現時点の値を含んで所定数過去に遡った複数のデータの平均的傾きを算出し、差の傾きデータ404を出力する。こうして得られた差の傾きデータ404の時間変化は図9(c)に示す波形となる。

【0057】研磨終点は演算部410により、この差分データが大きくなかった後ほぼ一定になった点を検出する。研磨終点は差分データが一定になった時点であることから、差の傾きデータか0近傍になった時点を検出すれば良いことから、0近傍を判定する値を終点判定閾値として、差の傾きデータ404の絶対値が連続して所定回数以上終点判定閾値以内の値であった場合、あるいは差の傾きデータの絶対値が所定値以上になってからの通算で所定回数以上終点判定閾値以内の値になった場合、または、差の傾きデータ404が終点判定閾値以内になる割合が所定割合以上になった場合に研磨が終了したと判定する。

【0058】次に図10を用いて演算部406によるアルゴリズム（以下アルゴリズムbとする）の実行について、差の傾きデータ404が終点判定閾値以内になる割合が所定割合以上になった場合に研磨が終了したと判定する場合を例として説明する。演算部406は、アルゴリズムb実行の第1ステップにおいて、差の傾きの絶対値が一度大きくなることを検出するため、差の傾きの絶対値が増加しているか否かをチェックする（ステップS104）。ここで増加していることを確認したら、突発的なノイズなどによる誤判定を防ぐために、差の傾きの絶対値が所定回数連続して満たすまで繰り返す（ステップS105）。

【0.019】次にアルゴリズムbの第2ステップに移り、一度差が大きくなった後に差がほぼ一定になる点を検出するため、差の傾きデータが所定の閾値以下か否かを判断する（ステップS206）。ここで差の傾きデータ404がり近傍である終点判定閾値に入ったかどうかを判定する。ここでも、突発的なノイズなどによる誤判定を防ぐために、その条件を通算して所定回数越えたか否かを判断する。

測定系は、(1) 1000 ml 容器、(2) 100 ml 容器、(3) 10 ml 容器、(4) 1 ml 容器、(5) 0.1 ml 容器である。

【0060】(第3の実施形態)第3の実施形態では第1の実施形態におけるアルゴリズムaと異なるアルゴリズム(以下アルゴリズムc)を並列に動作する点だけが異なり、それ以外は第1の実施形態と同じである。従って、ここでは、傾きデータ414が算出されるまでの説明を省略し、図11に示す終点検出装置153の内部構成ブロック図を用いて終点検出動作について説明する。

【0061】傾きデータ414は、アルゴリズムaを実行する演算部416とアルゴリズムcを実行する演算部417に並列に入力され、演算部417では反射光量が変化しなくなったこと、つまり傾きデータ414が0近傍になったことを検出して終点検出信号415を出力する。このためアルゴリズムaを実行する演算部416とアルゴリズムcを実行する演算部417は並列に動作可能であり、並列動作もしくはどちらか一方または双方行わないことを任意に選択できるが、複数のアルゴリズムを並行して動かすことにより、種類の異なるウェハにおいて研磨終点を検出することができる。

【0062】図12(a)は、研磨中における平均データ412の時間変化の一例を表すグラフであり、図12(b)は研磨中における傾きデータ414の時間変化の一例を表すグラフである。第1の実施形態で示したアルゴリズムaでも第2の実施形態で示したアルゴリズムbにおいても研磨終点の検出を行えない一例である。選択した波長の金属膜の反射率、下層の影響を含むバリア膜202の反射率、下層の反射率の変化がバリア膜厚や下層の構造によって各成長で相似になった場合である。

【0063】図12の上のグラフから研磨の進行に伴って平均データが特徴的に以下に列挙する(1)～(4)のように変化することが分かる。

- (1) 研磨初期には比較的大きな信号変化が発生する。
- (2) 反射光量が低下していく。この時、変化率はやや大きくなる。
- (3) 反射光量は上昇せず徐々に変化率を小さくしていく。
- (4) 反射光量が安定する。

【0064】(1)における研磨初期の比較的大きな変化は、ウェハ1とポリッシャ2が馴染むまでの間に生じるものであり、初期不安定領域で研磨進行とは異なる変化である。(2)における反射光量低下は、研磨進行によりバリア膜202が薄くなるに伴う変化で、金属膜201の反射率よりバリア膜202の下層の反射率や干渉の効果も含むバリア膜202の反射率の方が低く、研磨進行に伴いウェハ面上でバリア膜の占める割合が少なくなっている。したがって、変化率も大きくなる。

【0065】(3)における反射光量の変化率が小さくなるのは、ウェハ研磨面においてバリア膜202が殆どなくなり、下層の絶縁膜203の占める割合が多くなってきたためで、バリア膜202による影響が少なくなっている。【0066】(4)における反射光量の安定は、ウェハ研磨面においてバリア膜202が除去され下層の反射率で安定するためである。従って、変化率が一度上昇した後、0近傍で一定になる付近が研磨終点であり、この点を検出すればよい。

【0066】次に、図13を用いて演算部417で実行されるアルゴリズムcの動作について説明する。アルゴリズムc実行の第1ステップにおいて、最小点を検出し、研磨開始から最小点検出までの時間を保持する。まず、傾きデータの最小値チェック(ステップS106)により、最小値であればその値と研磨開始からの時間を保持し、所定回数以上最小点が検出されているか否かの判断(ステップS107)を行う。ここで所定回数連続して最小値が検出されない場合は、更に、最小値は0以上か否かチェックされる(ステップS108)。ここで0以上であればアルゴリズムcによる検出を中止するが、負の値であれば第2ステップの処理へ進む。

【0067】これは、反射光量が研磨進行に伴い小さくなるが、バリア膜202が薄くなるに従ってその変化が緩やかになることを検出するため、一番変化が激しかった時、すなわち、傾きデータの最小値と研磨開始からの時間を保持し、突発的なノイズなどの影響による誤判定防止のため所定回数連続して最小値が検出されないことにより、反射光量の変化が緩やかになったこと。換言すれば傾きデータが負の大きな値から0近傍に近づこうとしていることを検出するためである。ここで、最小値がり以上であると言うことは、反射光量が増えていることを意味するため第1の実施形態で示した反射光量が増えるパターンの途中から始まった可能性があり、アルゴリズムcにより研磨終点を誤検出しないようにするためにアルゴリズムc自身を停止する。

【0068】次に第2ステップの処理に進み、「傾きデータを最小値*所定倍率」の判定が行われる(ステップS208)。ここで傾きデータが最小値より所定倍率だけ上昇するまで待つ。なお、最小値に所定倍数を掛けているのは、傾きデータが0近傍になるまでの時間を予測するのに不可欠な中間時点を求めるためで、最小値から0近傍までを直線と見なし、例えば最小値の1/2を所定倍率として掛けた場合、最小値から所定倍率に達するまでの時間の2倍の時間が経過すると傾きデータが0であると予測できるためである。そして、ステップS209で最小値からの経過時間算出し、現在時間を中間時点として、中間時点と時間差を時間増加率として算出し、中間時点

時点を算出する。ここで、時間増加率は、 $(\text{時間増加率} \times \text{時間} + \text{時間}) / \text{時間}$ である。【0069】第3ステップでは、(1)～(4)の(1)～(3)の間で、中間時点からの経過時間と経過時間*所定倍率の

判定において、例えば、所定倍率が1とした場合、傾きデータが最小値からの経過時間が経過した時、最小値からに掛かるまでの1/2の時間が経過したことと意味し、中間時点から経過時間と同じ時間すなわち所定倍率1倍の時間が経過した時、傾きデータが0に達すると予測できる。ただし、最小値付近の変化が遅いため直線近似により傾きデータが0に達すると予想される時間に誤差が生じるのと、第3の実施形態では、第1の実施形態の波形と間違わないようチェックする機能を有するため、ステップS208における所定倍率を1/2とした場合、ステップS301での所定倍率は0.9等の1よりやや小さい値を用いる。

【0070】傾きデータが0以上か否かをチェックし（ステップS302）、ここで、第1の実施形態で示したアルゴリズムで検出すべき波形と間違わないためのチェックを行う。経過後傾きデータが0以上であればアルゴリズムの実行を中止し、負の値であれば、第4ステップの処理へ移行する。

【0071】これは、第1の実施形態で示した反射光量が上昇しないことを確認するためであり、傾きデータが0近傍と予測される時点で、傾きデータ上昇が発生する場合、傾きデータの変化率は小さくならざる直線的に変化し正の値となるため、ステップS302の条件で判別できる。また、ステップS301で示されるように所定倍率を乗したのは、最小値から微少時間経過するまで緩やかに変化し、その後直線的に変化するが、直線の傾きを求める際に最小値からの傾きを求めていたため実際の直線的な変化の傾きより少し傾斜が緩やかになるためであり、傾きに倍率を乗じるのではなく予測される時間をずらすため所定倍率を0.9倍などに設定するとよい。こうして求められた傾きデータが0と予測される時点で、傾きデータの値が正の値ならば、第1の実施形態で示した図5(b)のグラフのようになるため、アルゴリズムの実行を中止するか、傾きデータの値が負の値ならば、第4ステップの処理へ進む。

【0072】第4ステップでは、傾きデータが0近傍で所定閾値より小さくなる条件を用算して所定回数満たしたら研磨終点とする。これは、傾きデータが所定閾値以下であるか否かをチェック（ステップS401）、ここで判断で、0近傍の所定閾値より小さくなったら反射光量が安定するのを検出して研磨終点として検出するか、突発的なノイズなどによる誤検出防止のために、ステップS402でステップS401の判断条件か所定回数満たしたか否かの判断がなされる。ここで、所定閾値は、第1の基準反射光量に所定の値を乗じて算出しておく。これは基準反射光量が大きい場合は、反射光量を増加する。

（3）基準反射光量の変化量に対する基準反射光量の変化量に対して相対的な閾値により研磨終点を検出

するためである。

【0073】（第4の実施形態）上述した第1の実施形態から第3の実施形態では、ポリッシュヤ2の振動が測定系の邪魔をしないことが条件となっていた。しかし、i-MPなどの半導体ウェハ研磨装置では、ポリッシュヤ2が検査光または反射光の光路を阻害したり、ポリッシュヤ2の振動範囲が照射位置にかかる場合がある。以下に示す第4の実施形態は、ポリッシュヤが測定系を阻害する場合の研磨終点検出方法である。

【0074】ポリッシュヤ2の振動により測定系が阻害されたことを検出する方法として、一つは、ポリッシュヤ2の振動軸上に、センサを取り付けて、測定系を阻害する範囲をセンサで検出する方法と、もう一つは、反射光量信号が0もしくは0近傍の所定値より小さくなつたことを検出して測定系を阻害したと検出する。データから検出する方法がある。ただし、後者の場合には半導体ウェハの層構造を構成する組成によって分光反射が0もしくは極端に小さくならないよう検査光の波長の選択に注意が必要である。どちらの場合も阻害されたと判断する条件が、センサを用いて確認するか、データの値から確認するかの違いしかないとここでは、センサを用いた例について説明する。

【0075】第4の実施形態は、第1から第3の実施形態の全てにおいて、平均値算出部および傾き算出部または差の傾き算出部のみを変更すれば良く、構成などに関してはそれぞれの実施形態と同じであるため、ここでは、第1の実施形態における平均値算出部411および傾き算出部413を例として説明する。図1-4に平均算出部、傾き算出部413の詳細フローを示す。ただし、一例として、ここではセンサアクティブの時、ポリッシュヤ2が測定系を阻害している状態とする。まず、ステップS141にて平均値算出部411は、センサアクティブか否かをチェックする。アクティブの時は、更に所定回数に達したか否かを判断し（ステップS144）、1回転中のアクティブになった回数を計数して所定回数に達したら、無効データとして平均データとしてあり得ない値を格納する（ステップS146）。例えば、平均データが負の値を取らないのであれば、負の値を格納するか、極端に大きい値を格納するなどして通常の平均データとの区別を行う。

【0076】ステップS141において、センサがアクティブでないときは、ステップS142の「サンプリング周期で反射光量加算、時間取得処理」へ進み、ここで1回転分の反射光量信号を加算する。なお、サンプリング周期はウェハ1回転での反射光量としてウェハ面上の配線の粗密部分に影響されず、一定の研磨終点を

得る。したがって、回転周期×サンプリング周期で算出される時間で、研磨終点を軌跡を描く程度に小さい値であれば、検査光の当たっている

円周上において反射光量をムラ無く測定できろが、パターンの粗密が少ない場合などの理由で1回転の平均がウェハ研磨状況を十分知ることができれば、より荒くても構わない。

【0078】また、時間取得に関しては、1回転毎に算出される平均データ取得時点での時間を記録するため、1回転終了した時点（ステップS143）で、サンプリング毎に得られる時間の最初や最後や平均のいずれかで求めた時間を、平均データを取得した時間として後述の傾き算出部413で用いる。ステップS145の

「1回転平均値を算出し、平均データとして格納処理」において、センサがアクティブでない、すなわち有効なデータ数と有効な反射光量信号を加算した値から平均値を算出し、平均データ412として傾き算出部413に出力する。ここで、ステップS144に示す所定回数は、1回転のサンプリングで得られるデータ数と比較して反射光量変化を考慮した上で、センサアクティブで無効となるデータ数の割合が十分小さくなる値に設定しなければ、精度良い測定はできなため予め判定精度が劣化しない回数未満とする。これは、第1の実施形態で説明したように、ウェハ上には粗密のあるパターンが並んでおり、反射光量信号116は主に配線部分204の粗密に依存して変化するため、反射光量信号116は、周期的な変化を有するためである。

【0079】次に、傾き算出部413では、所定数過去に遡り無効データを除外し（ステップS147）、残ったデータと平均値算出部411で取得した時間から傾きを算出し、傾きの平均値を算出する（ステップS148）。ここで、所定数過去に遡るのは第1の実施形態でも示したように、研磨進行ムラ、計測精度ノイズの混入により平均データ412は、ノイズ成分が残るためである。また、無効データを除外した後の平均データから傾きの平均値を求めるには、平均データのうち所定回数過去に遡った時点の和と平均値算出部411において求めた時間差から傾きを算出する。

【0080】第1の実施形態で示した方法により、オリッシャ2の振動が1回転の最初もしくは最後のごく微少時間だけ測定系を阻害した場合や、ウェハ1が1回転にかかる時間と比較してオリッシャ2の振動スピードが十分早く、ごく微少時間しか測定系を阻害しない場合などに有効な平均データを反射光量として研磨終点検出が行える。逆に、オリッシャ2が測定系を阻害する時間が1回転にかかる時間と比較して無視できないくらい大きい場合は、サンプリング毎にセンサを確認せずに、ウェハ1の1回転データ取得開始直前と直後だけセンサを確認しない。しかし、一方で、は前方でセンサがアクティブな

出が遅れたり、研磨中に殆ど全て測定系を阻害される場合には検出そのものができないことから、全平均データのうち、およそ1/3以上の平均データが有効となる状態が望ましい。

【0081】上述した第1の実施形態から第4の実施形態では、照射位置が一つの場合についてのみ説明してきた。以下に示す第5の実施形態ではウェハ半径方向に複数の照射位置を用意して、それぞれの照射位置において第1の実施形態、第2の実施形態、第3の実施形態について説明した測定系を設置し、更にオリッシャ2の振動が測定系を阻害する照射位置には第4の実施形態を適用することで、新たな研磨終点の検出方法について説明する。

【0082】複数の照射位置において研磨終点を検出することから、研磨ムラによる終点検出が照射位置毎に異なり、研磨進行度合が遅い点では当然ながら終点の検出も遅くなる。更に第4の実施形態で示したオリッシャ2の振動により測定系が阻害される場合、阻害されている時の無効データは前後の有効な平均データの直線補間で推測しているに過ぎず、平均データがある値に漸近することを検出する場合に遅れが生じてしまう。以下に示す第5の実施形態では終点検出の遅れを補足する研磨終点の検出方法を提供する。ウェハ上には粗密のあるパターンが並んでおり、反射光量信号は主に配線部分の粗密に依存して変化するが、回転しているため各照射位置において、一周平均したときの反射光量つまり平均データは研磨状態が同じであればほぼ同じ値が得られる。そこで、終点検出が遅れている照射位置において最初に検出した照射位置での平均データを比較してほぼ同じ値になったとき終点として判断するアルゴリズムd（後述する）による終点検出を行うことで、研磨終点の検出遅れによる過研磨を防止する。

【0083】（第5の実施形態）図14は本発明における半導体ウェハの研磨終点検出装置の更に他の実施形態を示す図である。図において、水平面内で回転するウェハ1とウェハ1に対して所定圧力をかけて接触し回転しながらウェハ1の半径方向に振動するオリッシャ2と、ウェハ1の一一番外側に照射位置Aとして第2の実施形態で示した第1の測定系と第2の測定系を配置して、それぞれの測定系において独立にアルゴリズムaとアルゴリズムcを並列動作した終点検出を行う。更に第1の測定系と第2の測定系から第3の実施形態で示したアルゴリズムbによる終点検出を並列に行う。最も中心寄りに照射位置Cとしてアルゴリズムaとアルゴリズムcを並列動作した終点検出を行う第4の測定系を配置し、照射位置Cと照射位置Aと間は照射位置Bである。

ないため 第1の測定系と第2の測定系は第3の実施形態で示すように金属膜201での反射率が高く異なる波長を選択し 第3の測定系と第4の測定系の波長は、第1の測定系または第2の測定系と同じ波長とし、更に照射径についても同一条件で比較を行った方が簡単なため同一径とすると比較が簡単に見える。照射径が異なると、周りの影響により時間スレが生じるためである、また、照射位置A、Bは、共にポリッシャの揺動により測定系が阻害されず、照射位置Cはポリッシャ2の揺動により測定系が阻害されるものとして第4の実施形態を同時に適用する。それぞれの測定系における構成については、前述の各実施形態で説明済みであるためここでは説明を省略する、また、測定系の配置および実施形態は単独もしくは重複した多数の組み合わせが可能である。

【0085】図16に、第1の実施形態における終点検出装置159の内部構成を示す。ここでは、アルゴリズムdを実行する演算部以外の演算部及び平均値算出部や傾き算出部についての説明は、第1～第4の実施形態で示してきたので、アルゴリズムdに関わる部分以外の説明を省略する。照射位置Aの研磨終点検出装置としてとして、第1の測定系において、平均データ412は、傾き算出部413とアルゴリズムdを実行する演算部418に並列に入力され、第2の測定系において、平均データ422は、傾き算出部423とアルゴリズムdを実行する演算部428に並列に入力され、照射位置Bの研磨終点検出装置として第3の測定系において、平均データ432は、傾き算出部433とアルゴリズムdを実行する演算部438に並列に入力され、照射位置Cの研磨終点検出装置として第4の測定系において、平均データ442は、傾き算出部443とアルゴリズムdを実行する演算部448に並列に入力され、各演算部418、428、438、448でアルゴリズムdの並列処理を行う。

【0086】次に図17を用いて照射位置Aで最初に研磨終点を検出し、この時点で照射位置Cの研磨進行度合が遅れていた場合を例にとり、アルゴリズムbの動作を説明する。照射位置Cにおける第4の測定系では、第1の測定系と第3の測定系と同じ波長で同一径、同一照射角度の光学系が設置されている。まず、アルゴリズムbは実行の第1ステップにおいて、アルゴリズムcは第4ステップに到達したか否かをチェックする(ステップS109)。ここで第4の測定系にて第3の実施形態で示したアルゴリズムcの第4ステップに到達するまで待つが、これは先に照射位置Aにおいて終点が検出された場合、第1の測定系における平均データ412と第4の測定系における平均データ411を比較する際に、第1の

ズムCの第4ステップに到達する条件の一つは平均データが上昇しないことを利用するためである

【0087】次に、他の照射位置で研磨終点を検出するまで待つ(ステップS110)。これは、アルゴリズム4が照射位置Aでの研磨終点における平均データ112を利用するために、ステップS111の「検出した照射位置での検出時点の平均データを取得し、目標値として保持する」動作にて他の照射位置で終点が検出されるとその値を目標値として保持する。ただし、第2の測定系は波長が異なることによる分光反射率に差があるため目標値としてはならない。また、第1ステップの順序は、ステップS110→ステップS111→ステップS109の順序でも同一効果を得られるため、順序を変えてよい。

【0088】次に第ステップに進み、ステップ S 210 の「1 平均データ - 目標値 = 所定しきい値？」の判断が行われる。ここで、先に検出した照射位置 A での研磨終点における平均データ 4.1.2 と、照射位置 C における平均データ 4.4.2 を比較するが、測定精度により全く同じ値になるとは限らないため、平均データ 4.4.2 と目標値の差の絶対値が所定閾値より小さい場合に研磨終点とする。ここで、所定閾値は、測定誤差などを考慮して 0 に近い値を設定すればよい。こうすることで、第 5 の実施形態で示した構成において、照射位置 A で第 1 の測定系と第 2 の測定系によるアルゴリズム b だけが研磨終点を検出できる場合、もしくは第 4 の測定系と波長の異なる（この場合第 2 の測定系）測定系においてアルゴリズム a だけが研磨終点を検出できる場合でも、照射位置 B、C のように測定系を一つしか持たない測定系でも研磨終点検出が行えることから、ウェハ面上各点において未研磨状態の部分がないように研磨終点を検出が可能である。

【0089】第1の実施形態では、第2の実施形態に示したように、複数の照射位置で研磨終点の検出を行う場合に、研磨中でも研磨ムラを表示することを可能とする。これは、第2の実施形態で説明したように、研磨終点での平均データは同一種類のウェハもしくはパターンの粗密が似通ったウェハにおいて同じになることを利用する。

【0090】ウェハの研磨開始時点が金属膜で研磨終点がパリア膜を除去した後の絶縁膜が露出した状態までとすれば、全体的に見ると研磨開始から研磨終了に向かって平均データは下降する曲線をたどることから、同一種類のウェハもしくはパターンの粗密が似通ったウェハの研磨終点における平均データから現在の研磨進行度を知ることが可能である。研磨進行度を用いてウェハの

卷之三

1. 亂世魔術之研究

同じ値で誤検出を行わないようにするため、アルゴリズム

（五）

本属脱毛のものでは、前河研磨上に何種類のウェハもし、はバターン粗密が似通つたウェハの粒

点における平均データ、AVnを研磨中の平均データとすると、研磨進行度合AVrは以下の式で表すことができる。

$$AVr = (AVn - AVe) / (AVs - AVe) \dots (3)$$

【0091】この式により算出できる値に100を掛け百分率にすることで、感覚的に残りの研磨量を推測できるようになる。但し、第1の実施形態のように、バリア膜202が薄くなりその下の構造により、平均データが上昇する場合には、一度負の値を表示することになり、この場合には目安として用いる。しかし、このような場合でも、全てのアルゴリズムにおける進行度合を表示することで、研磨進行度合とアルゴリズム進行度合から残りの研磨量を正確に推測できるようになる。実際に時間に対する平均データの変化をグラフでリアルタイムに表示しても微妙な変化は掴みにくい場合もあるが、アルゴリズムの進捗を表示することにより、各アルゴリズムで実行中のステップと、そのステップでループなどにおける所定数がどの程度進んでいるかを表示することによって、そのステップが後どのくらいで終わるのかを容易に推測できるようになる。

【0092】アルゴリズムdを例として表示の一例を挙げると、アルゴリズムdの第ステップのステップS10に示す「アルゴリズムdは第4ステップに到達したか？」という部分の処理中には、「ALG4:ALG_Cステップ4待ち中」と表示し、ステップS110に示す「他の照射位置で終点検出したか？」という部分の処理中には、「ALG4:他点の検出待ち中」と表示し、第2ステップのステップS210に示す「平均データー目標値と所定しきい値？」判定中には、「ALG4:aaaaとbbbb待ち中」としてaaaaに「平均データー目標値」で算出される値とbbbbに「所定しきい値」を表示することで、アルゴリズムがどの程度進行しているかが分かるようになる。以上を全ての測定系およびアルゴリズムについて行うことで、研磨進行度合とアルゴリズムの進行度合から研磨の進行度合が照射位置毎に分かることで研磨ムラがどの程度あるのか分かることになる。

【0093】(第7の実施形態)第1の実施形態では、ボリッシャ2の揺動により発生する無効データにより、データの欠損部分を前後の有効データから直線として保管した。しかし、実際には研磨進行に伴う反射光量の変化は曲線となることから、検出精度は必然的に悪くなってしまう。そこで、第7の実施形態では、ボリッシャ2の揺動により測定系が阻害される照射位置に関して、第1の実施形態で示した研磨進行度合を調べ、最も進行度合の近い照射位置もしくは測定系から欠落したデータを補間することで研磨終点検出精度を高めることを可能とする。

かる。

置Aより進んでいる場合について説明する。まず、照射位置cのアルゴリズム毎の進捗を取得するが(ステップS181)、全てのアルゴリズムで検出時点を100となるように重み付けを行い、その達成を%で表示する方法や、アルゴリズム毎にステップやループの数が異なり、ループも所定回数ループや「最大値*所定倍率以下」ループの場合などを定量的にステップ毎に表示する方法など、様々であるが、ステップS183の「照射位置cより進んでいる照射位置はあるか?」の判断方法の例として、測定系毎のアルゴリズム別に、ステップ内の所定回数ループを「現在数/所定数」、「最大値*所定倍率以下待ち」のループを「現在値/(最大値*所定倍率)」等として、それそれの項目を1で達成と分かるようにし、図19に(表1)として示すようなマトリックスを配列などに格納する。

【0095】ここで、第2の測定系である照射位置B、第3の測定系である照射位置Cは、測定系が1つしかないので、アルゴリズムbを実行できないので、全く進行していないという意味で0と入れておき、照射位置Aは第1の測定系と第2の測定系があるが、同じ値を格納する。こうして、第4の測定系において、最も進んでいるのはアルゴリズムcで第3ステップ1～4程度が完了していることが分かる。これは測定系別にステップcの大小を比較して最も1に近い値もしくは最も大きい値を取り出せばよい。

【0096】図19に示す(表1)を用いて、図18に示すフローチャートの動作を最初から説明する。まず、ステップS181の「自照射位置におけるアルゴリズム毎の進捗を取得」において、この例の場合、照射位置cすなわち第1の測定系で測定系が阻害されているので、第4の測定系におけるアルゴリズム毎の進捗を取得する。次に、ステップS182の「他の照射位置における進捗を取得」において、この例の場合、第1の測定系と第2の測定系と第3の測定系におけるアルゴリズム毎の進捗を取得する。ステップS183の「照射位置cより進んでいる照射位置があるか?」において、この例の場合、照射位置Bにおける第3の測定系と照射位置Aにおける第1の測定系が照射位置cより進んでいることがわかる。これは比較元となる照射位置cにおける第4の測定系と他の照射位置において、同一アルゴリズムであれば単純にステップcの値と進捗cの値から判断できるが、アルゴリズムが異なる場合には、第1の実施形態で示したマトリックスを用いて場合分けで判断を複数行なう。

照射位置cと照射位置Bの研磨進行度合が同じであるかをもじ、照射位置Aが進んでいて、照射位置Bは照射位

置Aと照射位置Cは、照射位置Bが一番進んでいる場合は、補間を中断して無効データとして平均す

ータに記録する。

【0097】ステップS184の「その中で最も進捗が近い照射位置を選別」処理において、ステップS183の条件を満たした照射位置の内、最も進捗が近い照射位置を選別する。この例の場合、照射位置Cと他の照射位置、アルゴリズム進捗を比較し、同じか少しだけ進んでいる照射位置を検索すればよく、照射位置Cと同等の進捗で少しだけ進んでいるのは、照射位置Aにおける第1の測定系でアルゴリズムCの第3ステップ6～15程度を完了しており、その差は1～15しかないことが分かる。この時の検索方法は、第4の測定系の進捗と大小比較して第4の測定系以上の測定系を探せはよい。

【0098】ステップS185の「その照射位置における平均データを取得処理」において、ステップS184まで検索できた照射位置C（第4の測定系）より進んでいる最も進捗が近い測定系における平均データを取得する。この例の場合、照射位置Aの第1の測定系における現在の平均データであるが、ここでは新しい順番に、4、4、4、6、4、7、4、9、5、…だったと仮定する。ステップS186の「自照射位置における最新の有効な平均データを取得・処理において、この例の場合、照射位置C（第4の測定系）の現在から過去へ遡って最初に見つかる有効データで、常に値を補間できていれば直前の平均データを表すが、直前のデータが、ステップS183で無効データとなった場合には更に1回転分過去へ遡って有効データになるまで繰り返す。なければ、そのまま無効データとしてフローを中断する。ここでは、第4の測定系における直前の平均データが無効データで、更に1回転分過去のデータが4～8と仮定する。

【0099】次に、ステップS187の「他照射位置の平均データを遡って取得した値に近いデータを検索する」処理において、ステップS185で示したように照射位置C（第4の測定系）において有効データである2回転前のデータ4～8に近い値は、照射位置A（第1の測定系）の3回転前と4回転前のデータに近い値があり、順番に現在から過去へ遡って検索すること3回転前のデータである4～7が検索される。検索の際、許容できる割合を予め決めておき、その値の範囲内で最初に見つかるデータでも良いし、その値より大きくなつた所を探してもよい。ステップS188の「前回有効データと現在データまでの時間を算出」処理において、この例の場合、照射位置Cにおける4～8を検出した時点から現在に至るまでの経過時間のことだが、間に1回転分の無効データがあるため、経過時間としては2回転分の時間を意味する。

（4）無効データの補間

この場合、3回転前と4回転前のデータが4～7で、現在値、無効データ4～8となつておらず、補間すべき

データは、現在値と無効データである。そこで、有効データに近い値が見つかった第1の測定系の3回転前と2回転前のデータを直線で補間したとして、1回転分の変化は、4～6～4～7～0～1であることから、照射位置Cにおいて4～8の次の値は、4～8～0～1として、4～7を補間値として格納する。次に、第1の測定系の2回転前と1回転前で同様に処理を行い、4～4～4～6～0～2であることから、先ほど計算により求めた4～7から引き算を行い、4～7～0～2=4～9として補間を行う。このようにして研磨進行状態の近い照射位置の平均データの変化に沿って補間値を求めることにより、単純な直線での補間を行うよりも、無効データが連続した場合に精度良く補間が可能である。

【0101】（第8の実施形態）第8の実施例では、操作ミスなどにより、例えばパターン形成される前の絶縁膜のみのウェハなどを研磨してしまった場合に誤検出もしくは研磨終点が見つからないことを防ぐ方法ならびに装置である。構成は第3の実施形態に示した測定系を最低限一つ必要とする。まず、絶縁膜などの配線が形成されていないウェハ1を研磨すると反射光量は金属膜2の1やバリア膜202を研磨する場合に比べて非常にゆっくりと上昇あるいは下降する。図20に絶縁膜203のみのウェハを研磨した波形の一例を示す。このグラフから以下のように変化していることが分かる。ただし、ゆっくりと上昇するか下降するかは照射位置の組成と検査光の波長により決定されるので一概にはどちらかと言えないが、どちらの場合でもゆっくりと変化することにかわりはない。

【0102】このグラフから、研磨初期には比較的大きな信号変化が発生することと、反射光量は非常にゆっくりと低下することがわかる。前者における研磨初期の比較的大きな信号変化は、ウェハ1とオリナリシャ2が馴染むまでの間に発生するもので、初期不安定領域で研磨進行に伴う変化とは異なる。後者における非常にゆっくりとした反射光量の低下は、研磨進行に伴って膜厚が薄くなり検査光を透過して下層の反射の影響や、膜厚変化による検査光の干渉などによるものである。

【0103】第3の実施形態で示したアルゴリズムにて、例えば第1ステップの「所定回数以上最小値が検出されない」条件において、所定回数が少ないと誤検出の恐れがあり、また、傾き算出部413において、平均データのうち現時点の値を含んで所定数過去に遡った複数のデータの平均的傾きを算出する際にも、「所定数過去に遡った」個数が少ないと、傾きデータも微妙ながら上下の変化を起こしてしまい、こういった変化をアルゴリズムが誤検出してしまった可能性がある。したがって、

この誤検出を防ぐためには、所定時間経過して検出 자체を行わないようにし、さらに、所定時間経過して

も終点を検出できない場合には強制的に研磨を終了する。

【0104】また、反射光量がゆっくり変化しているかどうかを検出する方法を示す。研磨初期の比較的大きな信号変化を無視するため所定時間経過した後、最初に得られる平均データを保持する。この後、1回転毎に得られる平均データに対して、保持した値と比較して所定割合以上の変動がある場合に全てのアルゴリズムの第1ステップを開始する。複数の照射位置で検出している場合は照射位置毎に行っても良いし、特定の1つの照射位置で、平均データに変動があることを検出して全ての照射位置のアルゴリズムを開始してもどちらでも良いが、照射位置別に検出することにより、特定の照射位置の測定系がレーザの耐久年数を越えたり、破損して光が出なくなっている場合でも終点検出を行える効果がある。

【0105】次に強制的に終了する方法は、研磨開始からの経過時間が所定時間を越えた場合に、アラーム出力を行ったり、強制的に研磨終点検出として装置に出力すればよい。所定時間に関しては、ウェハ1の種類やバリア膜202の厚み、バリア膜202の材質、研磨液の種類などにより左右されるが、最も研磨時間が長いウェハを研磨する際に研磨開始から明確に変化したと分かるまでに掛かる時間より少し長めで、研磨終了までの時間に對して十分小さい時間でよい。この強制終了を持たせることで、従来予想していなかった素材でバリア膜202が構成された場合に、研磨し続けてボリッシャ2や研磨液を無駄に消耗する事を最小限に防ぐことができる。更に、上述した反射光量がゆっくり変化しているかどうかを検出する際に、別の所定時間を設定できるようにして、最も研磨に時間が掛かるウェハの研磨時間と別の所定時間を比較して、最も時間が掛かるウェハの研磨時間を経過しても所定割合以上の変動がなかった場合に強制終了することで、ウェハ研磨中に研磨液がレンズなどに飛び散って測定不可能な状態になるなどの予測できない場合でも研磨し続けてボリッシャ2や研磨液を無駄に消耗する事を最小限に防くことができる。

【0106】(第9の実施形態) 図21に示す第9の実施形態では、ウェハ面内分布がある場合に複数の測定系を用いて研磨終了を判断する方法と、研磨分布半導体ウェハの研磨終点検出装置の更に他の実施形態を示す図である。構成に関しては測定系の組み合わせにより無限に存在するため、一例として第9の実施形態で示した構成を用いる。終点検出信号405、終点検出信号415、終点検出信号425、終点検出信号435、終点検出信号445を出力するまでの構成と動作に関する説明は第1の実施形態から第8の実施形態(1)を通りてき。

終点検出信号405、終点検出信号415、終点検出信号425、終点検出信号435を入力し、CMP装置910が研磨分布

を認識できるデータフォーマットに変換した研磨進捗信号922を出力し、同時に、任意に選択される研磨終了条件から判断して研磨終了の際に研磨終了信号921を出力して構成される。

【0107】以下、動作について説明する。各測定系が¹出力する終点検出信号は第7の実施形態で示した(表1)の様にアルゴリズムの進捗とする。これは、現在の研磨状況を正確に把握しなければならないため、反射光量信号では研磨終点における反射光量信号は測定系毎またはウェハ1が変わってもほぼ一定の値となるが、第1の実施形態で示したように平均データが上昇する場合には、研磨途中であっても研磨終点での反射光量信号と同レベルな信号があるため、一概に研磨分布を調べるのに適していないためである。従って終点検出信号はアルゴリズムの進捗を示すべきであり、第7の実施形態でも示したが、以下に詳細に示す。

【0108】照射位置Aの研磨進捗を表すのは、終点検出信号415と終点検出信号405と終点検出信号425の中で最も進捗が進んでいる所である。終点検出信号415は、アルゴリズムa、アルゴリズムc、アルゴリズムdを実行する演算部416、417、418のそれぞれが存在し、それぞれの進捗を情報として出力する。

【0109】最初にアルゴリズムaの進捗の表し方を示す。アルゴリズムaは、団らに示すようにステップ数は2つである。各アルゴリズムは、それぞれをステップで分割していく。更に、ステップ内で、ある条件を満たすための条件ループが存在するため、ステップの進捗と、条件進捗を分けて考える。そこで、ステップの進捗の方は、アルゴリズムを実行していない場合は0とし、アルゴリズムが実行されていて第1ステップ実行中なら1/2とし、第2ステップ実行中なら2/2とする。こうして、ステップ進捗は、未研磨もしくはアルゴリズム未実行にて0となり、研磨が最終ステップに入ったときに1となり、以降の比較を行いやすくできる。

【0110】次に、条件進捗の表し方は、第1ステップにおいて、団らのステップS102の「傾きデータ・閾値?」処理と、ステップS103の「所定回数越えた?」処理を複合して、条件進捗=傾きデータ・閾値の条件達成回数/所定回数で表す。例えば、所定回数5回で現在2回傾きデータ・閾値の条件をクリアした場合2/5とする。こうして、条件進捗は、未研磨もしくはアルゴリズム未実行にて0となり、条件達成時に1となり、次のステップへ進み、ステップ進捗と条件進捗が共に1となった時、研磨終点検出となることから、ステップ進捗と条件進捗から研磨状況を判別できる。

「傾きデータ・閾値?」処理を複合して、条件進捗=現在の傾きデータ・(傾きデータ最大*所定倍率)達成回数/所

定回数で表す。こうして、アルゴリズムaを実行する演算部4-16はステップ進捗と条件進捗の二つの情報を出力する。

【0112】同様にアルゴリズムcの進捗の表し方を示す。アルゴリズムcは図13に示すようにステップ数は4つである。ステップ進捗の表し方は、アルゴリズムを実行していない場合は0-4とし、アルゴリズムが実行されていて第1ステップ実行中なら1-4とし、第2ステップ実行中なら2-4とし、第3ステップ実行中なら3-4とし、第4ステップ実行中なら4-4とする。こうして、ステップ進捗は未研磨もしくはアルゴリズム未実行にて0となり、研磨が最終ステップの第4ステップに入ったときに1となり、以降の比較を行いやすくなる。

【0113】次に条件進捗の表し方は、第1ステップにおいて、図13のステップS107の「所定回数以上最小点が検出されていないか？」の判断で、条件進捗=現在の最小点未検出回数／所定回数で表す。ステップS108の「最小値はり以上？」の判断に関しては、アルゴリズムcを中止するか実行するかの判断だけがループしないので、条件進捗に影響はない。第2ステップにおいて、図13のステップS208の「傾きデータと最小値*所定倍率？」の判断において、条件進捗=(最小値*所定倍率)／現在の傾きデータで表し、第3ステップにおいて、図13のステップS301の「中間時点からの経過時間と経過時間*所定倍率？」の判断において、条件進捗=中間時点からの経過時間／(経過時間*所定倍率)で表し、第4ステップにおいて、図13のステップS401の「傾きデータが所定閾値以下か？」とステップS402の「上記条件を所定回数満たしたか？」の条件を複合して、条件進捗=傾きデータが所定しきい値以下になった回数／所定回数で表し、アルゴリズムaと同様に、アルゴリズムcは、ステップ進捗と条件進捗の二つの情報を出力する。

【0114】同様にアルゴリズムdの進捗の表し方を示す。アルゴリズムdは、図17に示すようにステップ数は2つである。ステップ進捗の表し方は、アルゴリズムを実行していない場合は0-2とし、アルゴリズムが実行されていて第1ステップ実行中なら1-2とし、第2ステップ実行中なら2-2とする。こうしてアルゴリズムdで説明したのと同様に以降の比較を行いやすくなる。次に条件進捗の表し方は、第1ステップでは、ステップS109の「アルゴリズムdはステップ4に到達したか？」の判断と、ステップS110の「他の照射位置で終点検出したか？」の判断の2つの条件ループがあり、例えば、ステップS110の判断ではアルゴリズムd

進捗を求めた方が容易である。ここでは、条件ループが2つあるため、ステップS109の条件ループ中は、1-2とし、ステップS110の条件ループ中は、2-2として表す。

【0115】第2ステップで、図17のステップS210の「平均データー目標値と所定しきい値？」の判断において、条件進捗=平均データー目標値／所定閾値で表し、アルゴリズムaと同様にアルゴリズムdは、ステップ進捗と条件進捗の二つの情報を出力する。こうして第1の測定系における終点検出信号4-15は、アルゴリズムaのステップ進捗と条件進捗と、アルゴリズムcのステップ進捗と条件進捗とアルゴリズムdのステップ進捗と条件進捗で表される。第2の測定系における終点検出信号4-29、第3の測定系における終点検出信号4-35、第4の測定系における終点検出信号4-45においても同様に表す。

【0116】アルゴリズムbの進捗の表し方は、図10に示すように、ステップ数は2つであり、ステップ進捗はアルゴリズムを実行していない場合は0-2とし、アルゴリズムを実行してて第1ステップ実行中なら1-2とし、第2ステップ実行中なら2-2とする。こうして、ステップ進捗は、未研磨もしくはアルゴリズム未実行にて0となり、研磨が最終ステップに入ったときに1となり、以降の比較を行いやすくなる。次に条件進捗の表し方は、第1ステップにおいて、図10のステップS104の「差の傾きの絶対値は増加しているか？」と、ステップS105の「上記条件を所定回数連続で満たしたか？」を複合して、条件進捗=現在の連続条件達成数／所定回数で表し、第2ステップにおいて、図10のステップS205の「差の傾きデータが所定閾値以下か？」と、ステップS206の「上記条件を通算して所定回数越えたか？」を複合して、条件進捗=現在の通算所定閾値以下達成数／所定回数で表す。こうして、他のアルゴリズム同様、アルゴリズムbはステップ進捗と条件進捗の二つの情報を出力する。

【0117】照射位置Aにおける研磨進行状態を表すには、終点検出信号4-15におけるアルゴリズムaとアルゴリズムcとアルゴリズムdのそれから得られるステップ進捗と条件進捗を比較してステップ進捗と条件進捗の両方が1に近い値であることを判定して、そのアルゴリズムの進捗が終点検出信号4-15から得られる研磨進捗を表す。ここで、比較を行う際に、条件進捗はステップが変わる度にリセットされてしまうため、ステップ進捗と条件進捗の和をとて2に近い値を最も進んだアルゴリズムと判断してはならない。最初にステップ進捗を比較して、最も進んでいたアルゴリズムの進捗を

最も11に近い値もしくは、最も大きい値を示すアルゴリズムの進捗を終点検出信号415とすればよい。

【0118】こうして、終点検出信号415、終点検出信号405、終点検出信号425、終点検出信号435、終点検出信号445の進捗を得ることができる。終点検出信号においてアルゴリズム毎に進捗を比較したのと同様の比較を行うことで、照射位置毎の進捗がわかる。照射位置Aにおいて、終点検出信号415と終点検出信号405と終点検出信号425の比較を行い、最も進捗の進んでいるところが照射位置Aの進捗を表し、照射位置Bは終点検出信号435そのものであり、照射位置Cも同様に終点検出信号445そのもので表し、研磨進捗信号922として出力する。全ての照射位置での研磨進捗はウェハ研磨面上の研磨分布を表す。

【0119】従って、ウェハ面内分布を少なくするよう研磨するためには、CMP装置900がアルゴリズム進捗の比較を行ったのと同様の機能を有する場合、研磨進捗信号922は、全ての照射位置における進捗として、CMP装置900にて進捗の比較を行い、最も研磨の遅れているところを重点的に研磨すればよいが、CMP装置900に比較機能がなければ、終点検出信号出力手段にて照射位置毎の進捗を比較し、進捗の遅れている照射位置もしくは進捗の進んでいる照射位置を研磨進捗信号922として出力し、CMP装置900は、進捗の遅れている所を重点的に研磨し、進捗の進んでいる所は研磨しない研磨プロセスを実行してウェハ研磨面における研磨分布を小さくすることができる。

【0120】また、ウェハ面内の任意な点の研磨終点検出により研磨を終了する方法を以下に示す。研磨終了信号921は、終点検出信号出力手段にて、アルゴリズム進捗の比較で行ったのと同様に、全ての照射位置での進捗を比較して、任意に選択できる単独もしくは複数の照射位置において研磨終点を検出した時点で研磨終了信号921を出力する。CMP装置900は、研磨終了信号921を受けて研磨動作を終了する。この方法では、特に研磨されにくい点が予め分かっている場合に有効である。

【0121】更に、前工程からの面内分布の影響を受けたり、研磨ムラによる面内分布が存在する場合、部分的に研磨状態が良好な所と過研磨の所と研磨不足のところが1枚のウェハに混在することになり、この比によって歩留まりが大きく変わってしまうことも考えられる。この対処方法としては、任意に選択できる単独もしくは複数の照射位置で研磨終点を検出するのではなく、最初に研磨終点を検出した時間を保持して、この後、任意に選択できる単独もしくは複数の照射位置における研磨終点

【0122】以上説明の如くに本発明によれば、絶縁膜上のバリア膜が除去されたことを精度良く検出し、研磨終点として検出することができる半導体ウェハの研磨終点検出方法ならびにその装置を提供できる。また、半導体ウェハ表面には研磨そのものによるムラや、前工程の成膜工程による研磨前膜厚バラツキなどによる研磨ムラを生じるが、これを全くムラのない状態にすることは困難である。本発明は、複数の測定系を用いてウェハ面上の研磨進行状況の分布を計測し、ウェハ研磨面上の任意位置の研磨終点を検出して研磨終了としたり、研磨が最も遅い部分の研磨終点で研磨を終了させる等半導体ウェハ表面上の研磨分布により研磨終点を適時変え、最適な研磨結果が得られるようにしたり、研磨ムラを減らす目的でCMP装置にウェハ研磨分布情報を伝えることができる。

【0123】更に、ある計測点に対し2種類以上の計測を行っている場合、その計測データを他の計測点の研磨終点判定に役立て、同一半導体ウェハ上であれば、どの計測点でも同じ研磨進行度合での計測データは同じ計測方法毎に等しくなるため、他の計測点に対し、より少ない種類の計測を行い、多い種類の計測点と比べ、行っていない種類の計測値を共通する種類の計測値を元に推測し計測の種類を少なくできる。また、本発明の半導体ウェハ研磨終点検出装置および方法は複数の測定系を用いてウェハ面上各点での研磨終点の検出を行い、研磨中に研磨進行度合を表示することで、研磨ムラの具合を研磨中に確認できる。なお、本発明の研磨終点検出装置および方法は、金属配線形成後ではあるが配線以外の絶縁膜上のバリア膜が除去されていない半導体ウェハを対象として、複数の測定系を用いてウェハ面上各点での研磨終点の検出を行い、研磨中に研磨進行度合を表示することで、研磨ムラの具合を研磨中に確認可能とし、更にウェハ面上各点における研磨状態を考慮し最適な研磨終点の検出を行うものであり、また研磨中に研磨進行度合を把握し、研磨ムラを小さくする目的でCMP装置に研磨分布情報を与えることもできる。

【0124】

【発明の効果】以上説明の如くに本発明によれば、配線部分の金属膜とバリア膜を除く絶縁膜上のバリア膜が除去されたことを検出するため、金属膜が配線部分以外で除去され、かつバリア膜が除去されていない半導体ウェハを対象に、最終の研磨終点を精度良く検出することができる。また、ウェハ面上の任意の位置における研磨終点を検出、あるいは各点の研磨状況を組み合わせて判断し、研磨終了とすることが可能である。更に、複数の測定系を配置することで、この計測結果を用いて研磨終点

の検出精度を向上するための機能を有する。

研磨が完了した後が過研磨を最小限に押さえられるようになっており、歩留まりを安定させることができるとある。

10

研磨終点検出

10

進行度合を計測し、CMP装置にかかる制御を行うことにより、CMP装置側で研磨ムラをなくす目的で装置を制御する機能

があれば、研磨中に研磨ムラをなくすようCMP装置にフィードバックできる。

【0125】また、同一ウェハ上では計測位置が違っても同じ研磨進行程度なら計測データも同じであり、複数の測定系を配置して研磨進行度合の近い測定系からデータを推測して補間するため、パッドの揺動により測定系の一部の光路が遮られる場合においても、ある程度測定データが取得できれば、阻害された時点でのデータを補間できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明における半導体ウェハの研磨終点検出装置の第1の実施形態を示す図である。

【図2】 本発明において使用される半導体ウェハ表面の断面形状を示す図である。

【図3】 半導体ウェハの被研磨面上にある研磨液排除装置を示す図である。

【図4】 図1に示す第1の実施形態における終点検出装置の内部構成を示すフロック図である。

【図5】 研磨進行に伴う平均データの変化の一例と、研磨中における傾きデータの時間変化の一例を表すグラフである。

【図6】 第1の実施形態において演算部が実行するアルゴリズムaの実行手順をフローチャートで示した図である。

【図7】 本発明における半導体ウェハの研磨終点検出装置の他の実施形態(第2の実施形態)を示す図である。

【図8】 図7に示す第2の実施形態における終点検出装置の内部構成を示すフロック図である。

【図9】 研磨進行に伴う平均データの変化の一例と、研磨中における傾きデータの時間変化の一例を表すグラフである。

【図10】 本発明の第2の実施形態において演算部が実行するアルゴリズムbの実行手順をフローチャートで

示した図である。

【図11】 本発明の第3の実施形態における終点検出装置の内部構成を示すフロック図である。

【図12】 研磨進行に伴う平均データの変化の一例と、研磨中における傾きデータの時間変化の一例を表すグラフである。

【図13】 第4の実施形態において演算部が実行するアルゴリズムcの実行手順をフローチャートで示した図である。

【図14】 本発明の第4の実施形態において、平均算出部、傾き算出部の動作をフローチャートで示した図である。

【図15】 本発明における半導体ウェハの研磨終点検出装置の第5の実施形態を示す図である。

【図16】 図15に示す実施形態において使用される終点検出装置の内部構成を示すフロック図である。

【図17】 アルゴリズムdを実行する演算部の動作手順をフローチャートで示した図である。

【図18】 本発明における第7の実施形態の動作をフローチャートで示した図である。

【図19】 本発明における第7の実施形態にて使用されるマトリクステーブルを(表1)として示した図である。

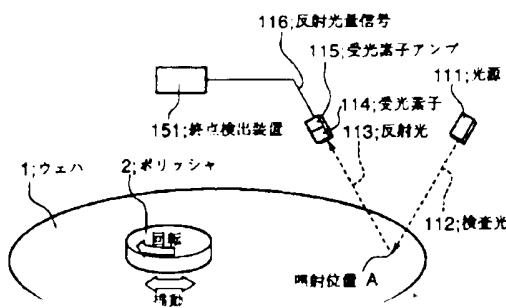
【図20】 本発明の第8の実施形態における絶縁膜のみのウェハを研磨した波形の一例を示す図である。

【図21】 本発明における半導体ウェハの研磨終点検出装置の第9の実施形態を示すフロック図である。

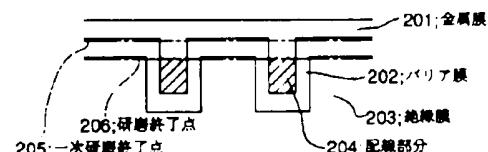
【符号の説明】

1…ウェハ、2…ポリッシャ、3…研磨液、4…研磨液排除装置、111…光源、112…検査光、113…反射光、114…受光素子、115…受光素子アンプ、116…反射光量信号、201…金属膜、202…バリア膜、203…絶縁膜、204…配線部分、205…一次研磨終了点、206…研磨終了点

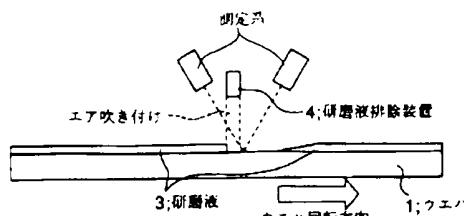
【図1】



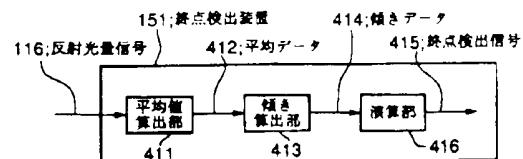
【図2】



【図3】



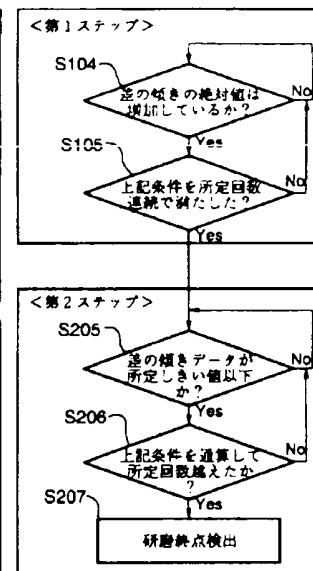
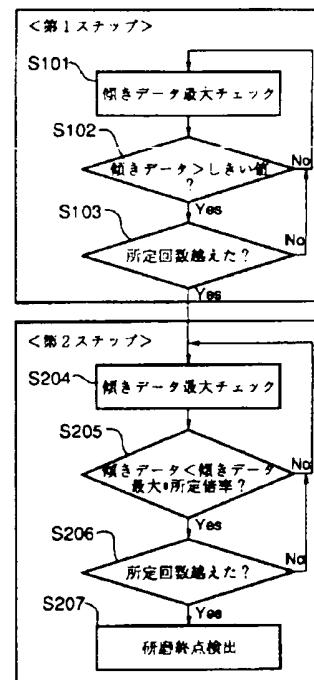
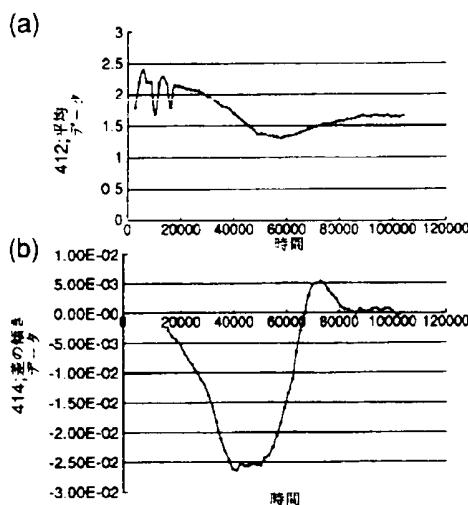
【図4】



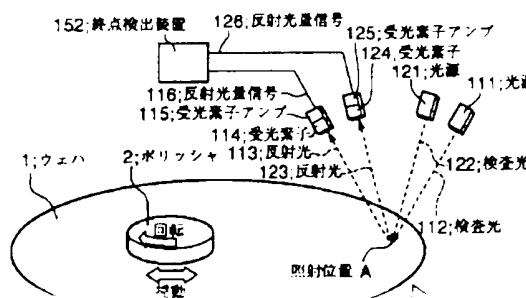
【図6】

【図10】

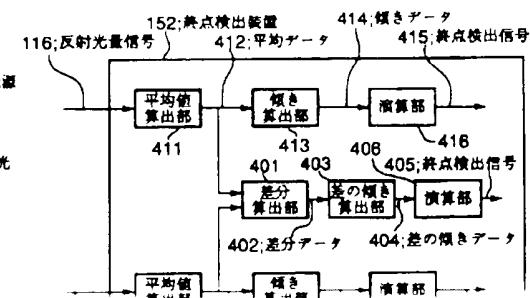
【図5】



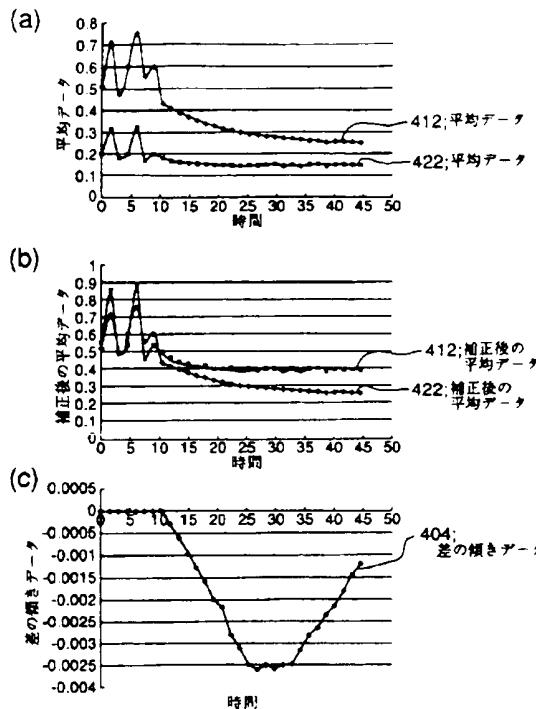
【図7】



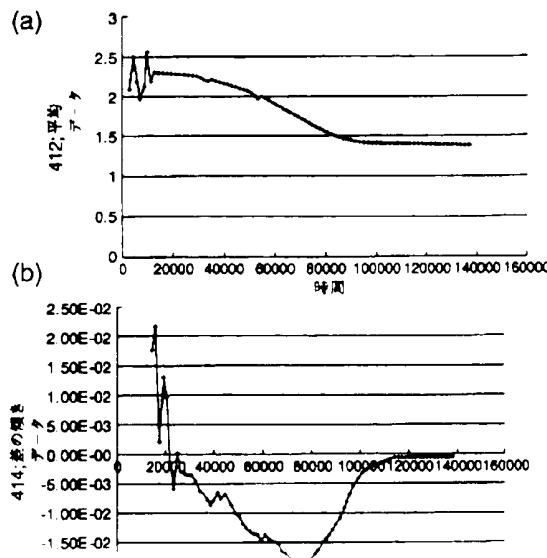
【図8】



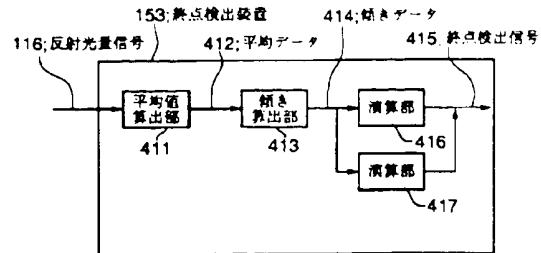
【図9】



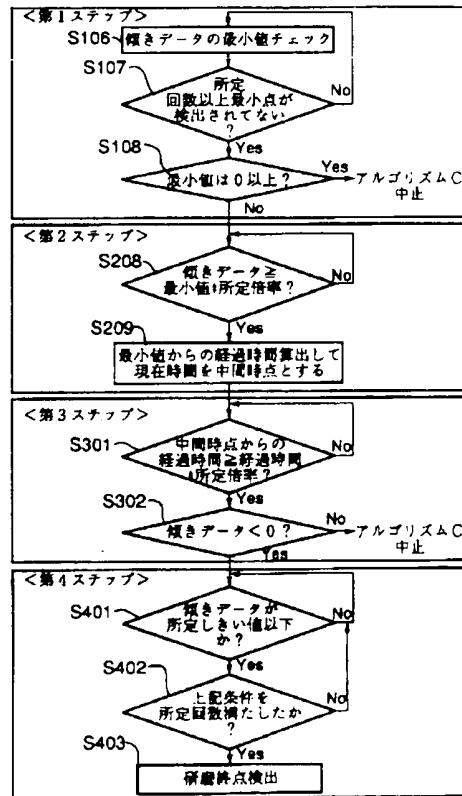
【図12】



【図11】



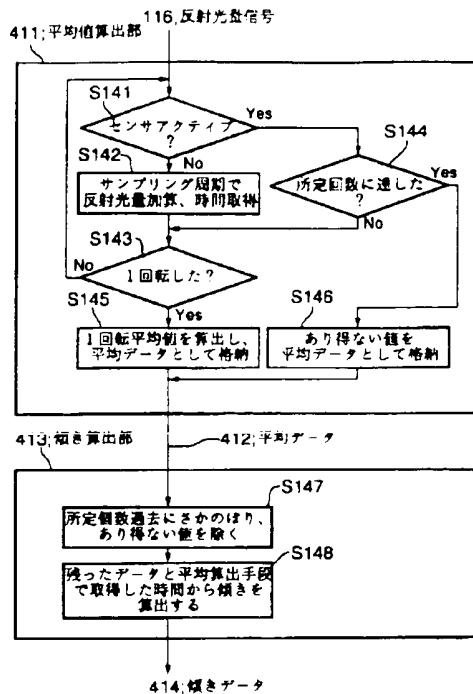
【図13】



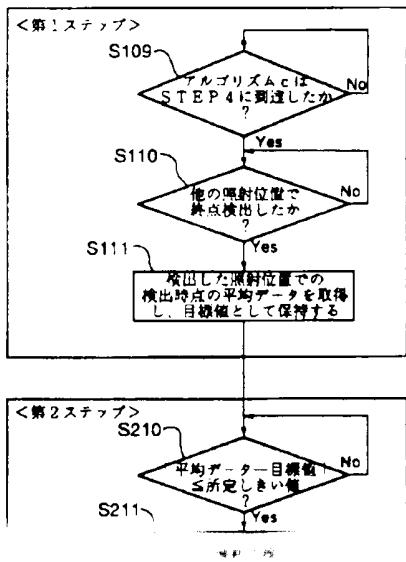
【図19】

	アルゴリズムa STEP	アルゴリズムb STEP	アルゴリズムc STEP	アルゴリズムd STEP
第1の測定系	1/2	1/3	1/2	3/4
2の測定系	1/2	1/3	1/2	1/2
3の測定系	1/2	1/3	1/2	1/2

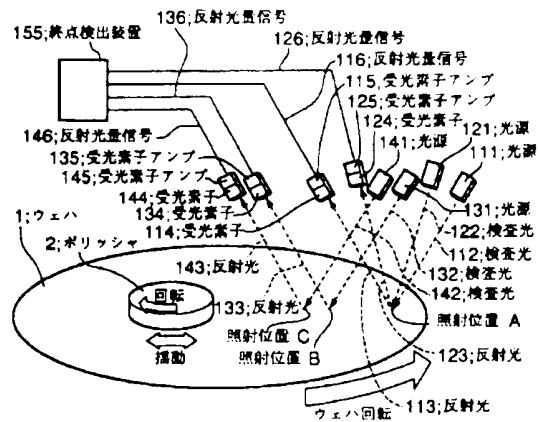
【図14】



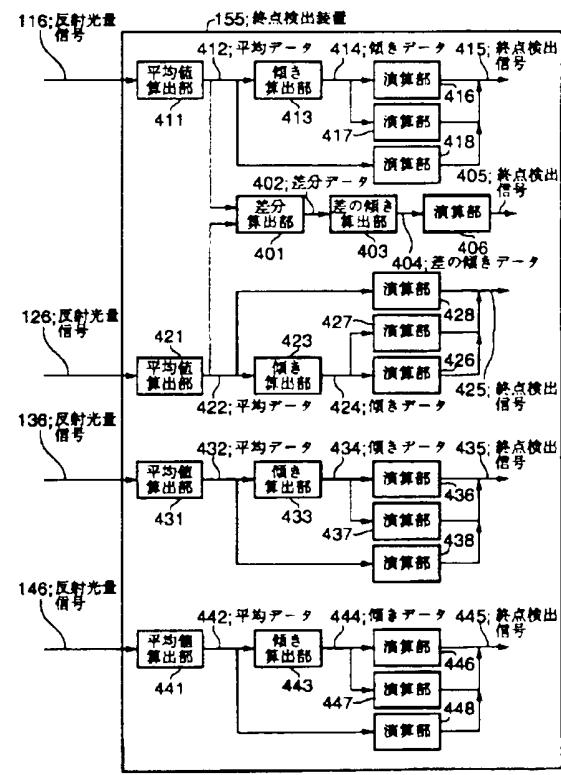
【図17】



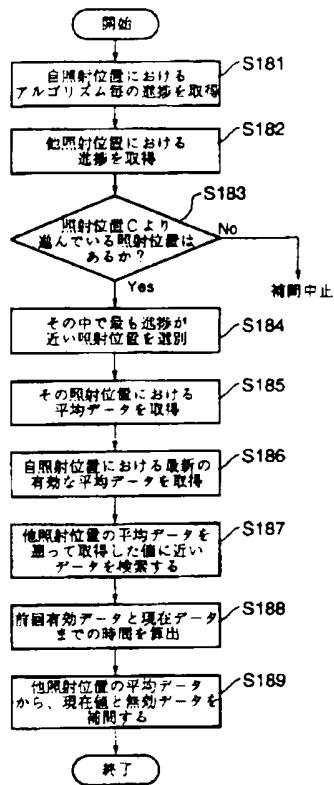
【図15】



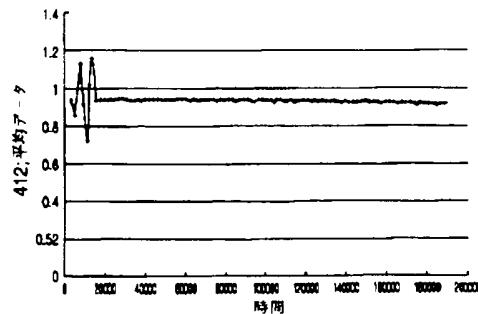
【図16】



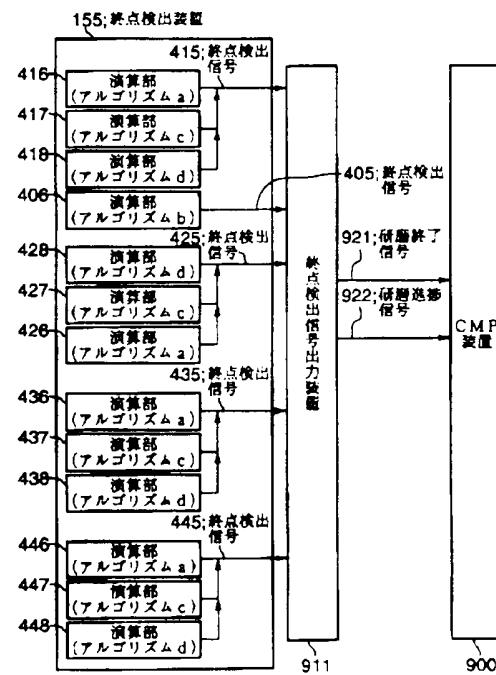
【図18】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

(72)発明者 大川 勝久

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内

Fターム(参考) 3C058 AC01 AC02 BA07 BB06 BB08

BB09 BC02 BC03 DA12 DA17